



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA  
DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH  
VOZIDEL**

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC  
ACCIDENTS AND VEHICLE ASSESSMENT

**STŘETY BOKŮ VOZIDEL POD ÚHLEM 11° PŘI  
RŮZNÝCH RYCHLOSTECH**

SIDE COLLISIONS OF VEHICLES AT AN ANGLE OF 11° AT DIFFERENT SPEEDS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Ondřej Buchta**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D.**

**BRNO 2020**



# Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Ondřej Buchta</b>
Studijní program:	Expertní inženýrství v dopravě
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20
Ústav:	Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Střety boků vozidel pod úhlem 11° při různých rychlostech**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

V úvodu práce popsat možnosti využití výsledků z tečných nárazových zkoušek vozidel v soudně – inženýrské praxi. Zpracovat a vyhodnotit naměřená data z tečných střetů vozidel provedených za účasti ÚSI. V závěru shrnout a zhodnotit získané výsledky a poznatky.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Provést rešerši dostupné literatury k danému tématu.
2. Příprava znaleckého experimentu pro měření tečných střetů vozidel.
3. Realizace experimentu (experimenty jsou připraveny ve spolupráci s vedoucím práce).
4. Získaná data porovnat s podobnou, již dostupnou literaturou.
5. Učinit závěry a případná doporučení.

### **Seznam doporučené literatury:**

- [1] DUSCHA, Axel. Der Einfluß des Lenkverhaltens auf das Schadenbild bei Pkw/Pkw-Streifkollisionen. Berlin, 1996. Diplomová. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft.
- [2] SCHRÖDER, Daniel. Experimentelle Untersuchung zur Rekonstruktion der Kollisionsgeschwindigkeit bei streifenden PKW/P durch Schadenanalyse und rechnergestützte Simulatio. Dresden, 2012. Diplomová práce. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.
- [3] BECKE, Manfred. Hochgeschwindigkeitsunfälle mit Leitplanken. Žilina, 2009. Disertační práce. Univerzita v Žilině, Stavební fakulta. Vedoucí práce Prof. Ing. Gustáv Kasanický, Ing. Tibor Kubjatko, PhD.

- [4] WEBER, Michael. Die Aufklärung des Versicherungsbetruges Pkw-Streifkollisionen. München, 1995. Diplomová. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik.
- [5] BUČKO, František. Znalecký experiment, strety bokov vozidiel pod uhlom 5° pri rôznych rýchlostiach. Žilina, 2018. Diplomová. Žilinská univerzita, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D.
- [6] ZANDER, Gordon. Experimentelle Untersuchung von streifenden Pkw-Pkw-Kollisionen zur Unterscheidung von Unfällen und absichtlich herbeigeführten Fahrzeugschäden durch Analyse der Schadenbilder. Berlin, 1998. Diplomová práce. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft.
- [7] KASANICKÝ, KOHÚT, LUKÁŠIK: Impact dynamics theory for the analysis and simulation of collisions, odborná knižní publikace ISBN 80-8070-312-4 / 2004, (SK)
- [8] RÁBEK, ŠACHL jr.: Teoretický pohled na stavbu a vlastnosti střetového ukazatele GEV, Znalec 1/2002, ISSN 1805-6881

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel

## **Abstrakt**

Obsah diplomové práce se zaměřuje na určování rychlosti u tečných střetů dvou vozidel. V teoretické části je proveden rozbor současného stavu poznání a popis přípravy experimentů provedených v rámci práce. V praktické části je popsán průběh jednotlivých experimentů, dále jsou zpracovány a vyhodnoceny výsledky těchto experimentů. Cílem práce je rozšířit současné poznání ohledně tečných střetů a přispět svými poznatky k provádění analýzy tohoto typu kolizí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tečný střet, kolize; vozidlo; analýza poškození, úhel 11°, úhel 14°

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is determination of speed during sideswipe collisions of two vehicles involved. In theoretical part, available knowledge base and the preparation of experiments made for this thesis are described. Practical part describes individual experiments, and processes and evaluates the results of said experiments. This thesis aims to improve current knowledge base about sideswipe collisions.

## **KEYWORDS**

Sideswipe collision, collision; vehicle; damage analysis, angle 11°, angle 14°

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUCHTA, Ondřej. *Střety boků vozidel pod úhlem 11° při různých rychlostech*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120324>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Vlastimil Rábek.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Střety boků vozidel pod úhlem  $11^\circ$  vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Rábka, Ph.D., a že jsem v seznamu uvedl všechny použité zdroje.

V Brně dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bc. Ondřej Buchta

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Vlastimilu Rábkovi, PhD. za trpělivost, rady a nápady při psaní diplomové práce. Poděkování patří rovněž všem, kdo se podíleli na přípravě a provedení experimentů.



# Obsah

1	ÚVOD .....	12
2	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ .....	13
2.1	OBEZNÁ PROBLEMATIKA TEČNÝCH KOLIZÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ .....	13
2.2	PROBLEMATIKA PODVODNÝCH POJISTNÝCH UDÁLOSTÍ .....	14
2.2.1	Úmyslně vyvolané, smluvené škodní události .....	15
2.2.2	Fingovaná škodní událost .....	15
2.2.3	Fiktivní škodní událost .....	15
2.2.4	Vyprovokovaná dopravní nehoda .....	15
2.2.5	Využitá dopravní nehoda .....	15
2.3	CHARAKTERISTIKA TUHOSTI BOKU OSOBNÍCH VOZIDEL .....	16
2.4	ROZLIŠOVÁNÍ SMĚRU PROKLUZU PŘI TEČNÝCH STŘETECH .....	17
2.4.1	Uspořádání deformací na plechových dílech .....	17
2.4.2	Průběh rýh v místech lícování dílů karoserie .....	18
2.4.3	Ulpívání částic v místech spojení dílů karoserie .....	18
2.4.4	Mikrostruktura povrchu laku .....	19
2.4.5	Třecí stopy pneumatik na boku vozidla .....	20
2.5	DYNAMICKÝ POHYB VOZIDLA .....	20
2.5.1	Vlastní frekvence příčného naklápění karoserie .....	21
2.6	VÝSLEDKY PODOBNÝCH PRACÍ .....	25
2.6.1	Studie „Analytický model pro zkoumání tečných kolizí v nízkých rychlostech“ – Funk et al. [8] .....	25
2.6.2	Studie „Analýza tečných kolizí ve vysokých rychlostech za pomoci dat naměřených při nárazových testech s malým překrytím“ – Brach et al. [10] .....	29
2.6.3	Statistická analýza nehod při změně jízdního pruhu – studie NHTSA [11] .....	32

2.6.4	Určení střetové konfigurace pomocí charakteru deformace vozidla – Ueyama et al.	35
-------	---	----

<b>3</b>	<b>ANALÝZA DAT NAMĚŘENÝCH PŘI NÁRAZOVÝCH ZKOUŠKÁCH.....</b>	<b>37</b>
3.1	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE .....	37
3.1.1	<i>XL Meter</i> .....	37
3.2	MÍSTO REALIZACE EXPERIMENTU .....	38
3.3	POŘÍZENÍ ZÁZNAMU EXPERIMENTU .....	38
3.4	PŘÍPRAVA VOZIDEL .....	40
<b>4</b>	<b>PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....</b>	<b>41</b>
4.1	ZKOUŠKY POD ÚHLEM 11° .....	41
4.2	ZKOUŠKY POD ÚHLEM 14° .....	42
4.3	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK .....	43
4.3.1	<i>Úhel 11° - pokus číslo 1</i> .....	43
4.3.2	<i>Úhel 11° - pokus č. 2</i> .....	48
4.3.3	<i>Úhel 11° - pokus č. 3</i> .....	55
4.3.4	<i>Úhel 11° - pokus č. 4</i> .....	61
4.3.5	<i>Úhel 14° - pokus č. 1</i> .....	67
4.3.6	<i>Úhel 14° - pokus č. 2</i> .....	74
4.3.7	<i>Úhel 14° - pokus č. 3</i> .....	81
4.3.8	<i>Úhel 14° - pokus č. 4</i> .....	87
<b>5</b>	<b>KORESPONDENCE POŠKOZENÍ STOJÍCÍHO VOZIDLA A DIFERENČNÍHO PŘÍČNÉHO ZRYCHLENÍ .....</b>	<b>95</b>
<b>6</b>	<b>OVĚŘENÍ HYPOTÉZY O PŘÍMÉ ÚMĚRNOSTI MEZI POŠKOZENÍM VOZIDLA A PŘÍČNOU SLOŽKOU HYBNOSTI .....</b>	<b>103</b>
6.1	VARIACE KOEFICIENTŮ .....	104

7	OVĚŘENÍ HYPOTÉZY O KORELACI DEFORMAČNÍ ENERGIE A SOUČTU KORIGOVANÉHO POŠKOZENÍ VOZIDEL .....	107
7.1	ÚVAHA NAD VÝJIMKOU NEPOTVRZUJÍCÍ ZÁVISLOST .....	109
8	ZÁVĚR.....	113
	SEZNAM ZDROJŮ .....	116
	SEZNAM ZKRATEK .....	118
	SEZNAM TABULEK.....	119
	SEZNAM GRAFŮ.....	120
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	122
	SEZNAM PŘÍLOH .....	125

# 1 ÚVOD

Tečné střety se v mnohých ohledech odlišují od ostatních typů kolizí. Zpravidla bývají charakterizovány delším časovým úsekem, během kterého jsou vozidla v kontaktu, dalším charakteristickým rysem je obvykle menší rozsah poškození než u kolmých či čelních střetů. K tečným střetům může dojít při mnoha běžných dopravních situacích, jako je přejíždění mezi jízdními pruhy, předjíždění jiného vozidla či výjezd z parkovacího stání, a při vysokých i nízkých rychlostech.

Právě hodnocení tečných střetů, ke kterým došlo při nižších rychlostech, může být poměrně problematické. V mnoha případech není možné přesně určit konečné polohy vozidel, případně může také nastat situace, že vozidlo bylo do své konečné polohy nastaveno řidičem, další problém představuje absence stop pneumatik vozidel na vozovce. Vzhledem k těmto omezením je mnohdy nemožné provést analýzu nehodového děje pomocí metod, jejichž vstupní údaje vycházejí z pohybu vozidel před a po střetu. Tato skutečnost představuje vážný problém, jelikož právě tečné střety v nižších rychlostech představují častý způsob provedení pojistného podvodu. U takových nehod v nízkých rychlostech je riziko zranění řidiče minimální, navíc je mnohdy obtížné prokázat, zda se jednalo o úmysl či nikoliv.

Jediný možný způsob, jak tento typ nehodového děje analyzovat, je prostřednictvím analýzy a korespondence poškození spolukolidujících vozidel. Analýza a zhodnocení poškození vozidel na základě provedených experimentálních zkoušek je tedy obsahem této práce. Byly provedeny dvě sady nárazových zkoušek pod úhlem  $11^\circ$  a  $14^\circ$ . V každé sadě byly provedeny 4 testy v různých rychlostech. Práce se zabývá analýzou poškození vozidel a změřených veličin pro vozidla z nárazových testů.

## **2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ**

### **2.1 OBECNÁ PROBLEMATIKA TEČNÝCH KOLIZÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ**

Tečné střety vozidel patří mezi nejčastější záměrně vyvolané kolize. U tohoto typu dopravních nehod je jedním z hlavních problémů skutečnost, zda bylo zavinění nehody úmyslné či nikoliv. Pojišťovny či znalci při vyčíslování škod zpravidla doporučují poškozené díly, jako jsou blatníky, dveře či prahy, vyměnit za nové, což má za následek značný nárůst odhadovaných nákladů na opravu. Reálně však tyto náklady mohou být výrazně nižší, než je odhadovaná výše škody, jelikož v praxi jsou opravy vozidel obvykle prováděny neekonomičtějšíм způsobem, i přes odborná doporučení. Tento způsob oprav obvykle zahrnuje mechanické vyrovnání pomačkaných a vyboulených plechových dílů (tzv. „vyklepání“) a zalakování odřenin. Dále lze očekávat, že poškození vozidla, které kolizi zapříčinilo, bude zpravidla méně rozsáhlé a především se bude nacházet na jedné straně předního nárazníku. Záměrné vyvolání tečné kolize vozidel je navíc poměrně snadné a samotná kolize nepředstavuje pro řidiče, který tento střet zapříčinil, výrazné riziko zranění. [1]

U tečných střetů chybí několik charakteristik typických pro jiné typy kolizí. Jedná se především o otisk vozidla, které kolizi zapříčinilo, do spolukolidujícího vozidla. U tečných střetů také není možné nalézt charakteristické stopy a deformace, způsobené různými částmi a díly kolidujících vozidel. I přes to je však možné využívat analýzy vzájemnosti deformací kolidujících vozidel. Se znalostí poškození obou vozidel a při dostatečném množství fotodokumentace, která poškození obou vozidel potvrzuje, je možné posoudit, zda deformace na poškozeném vozidle korespondují s tvary vozidla, jež kolizi zapříčinilo. Tento způsob dává možnost vyloučit poškození či deformace, ke kterým s největší pravděpodobností došlo již před kolizí, a tudíž tato poškození vyloučit z výsledného odhadu výše způsobené škody. Avšak vzhledem ke skutečnosti, že vznik některých poškození či deformací při dané dopravní nehodě nelze spolehlivě prokázat ani vyvrátit i přes tvrzení účastníků nehody, výsledky posuzování kompatibility poškození a deformací bývají často nedostatečné. [1]

Vzhledem k tomu, že u tečných střetů nedochází k výrazným změnám rychlostí či směrů pohybu kolidujících vozidel, obvykle není možné u nehod tohoto typu využívat fyzikálních zákonů. Jelikož nárazové rychlosti u tohoto typu nehod obvykle bývají nižší, chybí také brzdné stopy

pneumatik a z tohoto důvodu nelze tento typ nehod ani přesně zrekonstruovat. Jediný způsob, jak řešit tento typ nehod, je prostřednictvím analýzy poškození vozidel. [1]

## **2.2 PROBLEMATIKA PODVODNÝCH POJISTNÝCH UDÁLOSTÍ**

Snaha o zmanipulování dopravní nehody za účelem obohacení se je trestným činem. Škodní události je však nezbytné důkladně posuzovat, jelikož se nemusí nutně jednat o zmanipulovanou dopravní nehodu a tedy o pojistný podvod. [2]

Jako pojistný podvod se označuje činnost, kdy se fyzické či právnické osoby snaží obohatit na úkor pojišťovny. Tato činnost má nejčastěji podobu úmyslně vyvolané škodní události nebo jednání, které vede ke zvýšení vzniklé škody. Pojistným podvodem však může být také udání nepravdivých či hrubě zkreslených údajů při sjednávání pojistné smlouvy či uplatňování nároku na pojistné plnění, případně zamlčení podstatných skutečností v daných situacích. Za trestný čin pojistného podvodu hrozí trest již ve fázi jeho přípravy, a to až do maximální výše 10 let odnětí svobody. Výše trestu se odvíjí podle rozsahu škody pojistného podvodu. Všechny definice, podmínky a sazby trestů jsou přesně uvedeny v paragrafu č. 210 trestního zákona. [9]

Častými příklady podvodného jednání u pojistných podvodů jsou zamlčování podstatných údajů, úmyslné uvádění údajů nepravdivých či hrubě zkreslených; dále zejména ve spojitosti s dopravními nehodami jde o úmyslné vyvolání škodní události, která je pojišťovně prezentována jako událost nahodilá (typicky úmyslné vyvolání autonehody); úmyslné nadhodnocení vzniklé škody (např. nadhodnocení škody vzniklé na vozidle při nehodě); pojištění poškozeného majetku jako věci nepoškozené (např. pojištění poškozeného vozidla), případně kombinace předchozích příkladů podvodného jednání. [2]

Postup osob, které se pojistného podvodu dopouštějí, lze v principu shrnout několika hlavními zásadami, kterým podřizují své jednání:

- Minimální riziko pro účastníky podvodu
- Snadná technická proveditelnost podvodného jednání
- Splnitelnost jednání v dohledné době
- Maximalizace dosažitelného zisku

Jelikož manipulované dopravní nehody těmito zásadami vyhovují, jsou pro pachatele pojistných podvodů vhodným způsobem podvodného jednání. [2]

## **2.2.1 Úmyslně vyvolané, smluvené škodní události**

Jedná se o smluvenou a úmyslně zapříčiněnou dopravní nehodu. Touto dopravní nehodou může být jedna či více kolizí mezi dopravními prostředky, nebo střet vozidla s jiným objektem. Typickým příkladem takového typu podvodné škodní události může být situace, kdy se pachatelé podvodu předem smluví na místě, čase a průběhu dopravní nehody. [2]

## **2.2.2 Fingovaná škodní událost**

V případě fingované škodní události nemuselo ke střetu vozidel či ke kolizi s jiným objektem vůbec dojít. Typická fingovaná škodní událost je událost zcela zinscenovaná, kdy pachatelé podvodu umístí již dříve poškozená vozidla či objekty na daném místě do konečných poloh a posléze tuto zinscenovanou událost ohlásí pojišťovně. [2]

## **2.2.3 Fiktivní škodní událost**

Jako fiktivní škodní událost se označuje událost zcela vymyšlená – k nehodě vůbec nedošlo a vozidla ani osoby se v daném čase na daném místě, tak jak bylo ohlášeno pojišťovně, nikdy nenacházely. [2]

## **2.2.4 Vyprovokovaná dopravní nehoda**

V tomto případě je pachatelem podvodu využita řidičská chyba jiného účastníka silničního provozu k tomu, aby došlo ke kolizi, a aby byl tento účastník z hlediska pravidel silničního provozu označen jako viník nehody. Pachatelé se v tomto případě obvykle zaměřují na místa, která jsou známá svojí nepřehledností nebo jsou špatně značená. Typickou situací může být například místo, kde by měl druhý účastník nehody dát pachateli přednost zprava, avšak vlivem špatného značení či nepřehlednosti daného úseku tak neučiní. [2]

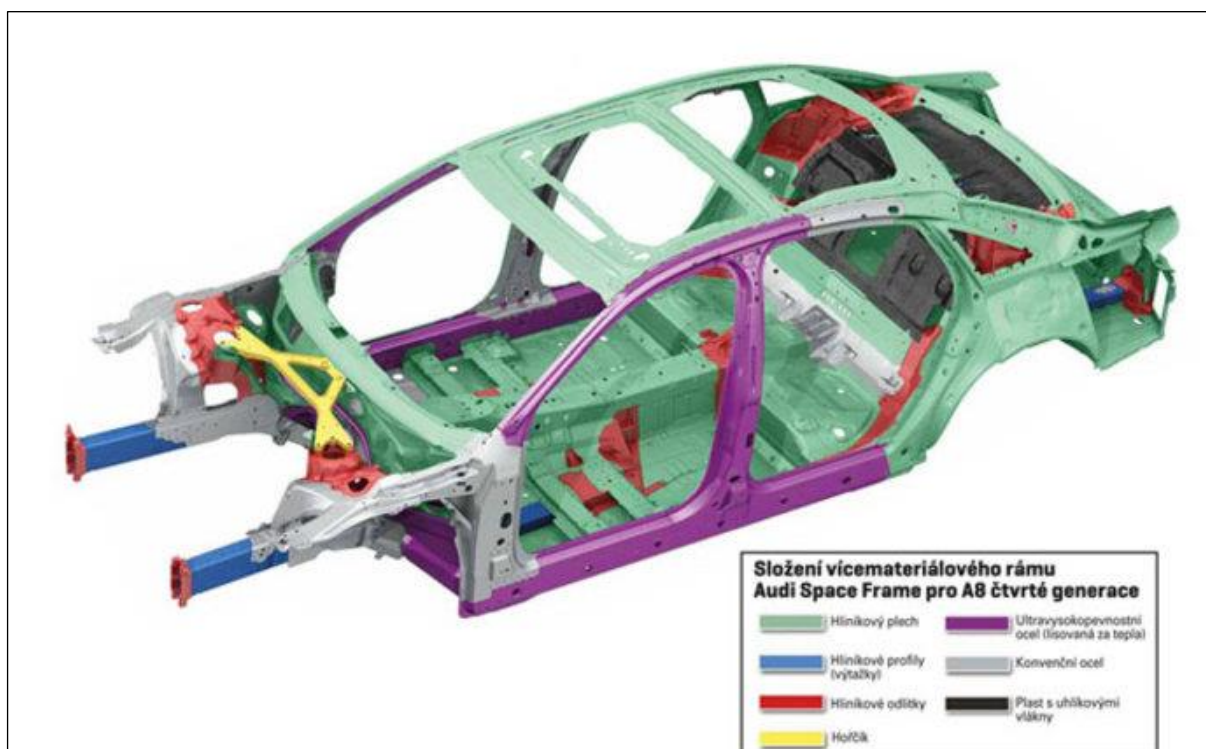
## **2.2.5 Využitá dopravní nehoda**

V tomto případě k dopravní nehodě reálně došlo, avšak při hodnocení výše vzniklé škody má pachatel snahu zahrnout do poškození způsobeného danou dopravní nehodou i škody, které v souvislosti s danou škodní událostí nevznikly. Typickým příkladem takového podvodného jednání je nahlášení starších, dříve vzniklých poškození, která však při dané dopravní nehodě nevznikla, případně ani vzniknout nemohla. [2]

## 2.3 CHARAKTERISTIKA TUHOSTI BOKU OSOBNÍCH VOZIDEL

Při střetu vozidel dochází ke vzniku trvalých deformací majících různý rozsah a zejména různou hloubku. Důvodem těchto rozdílů je různorodá tuhost karoserie, jelikož odlišné části karoserie mají odlišné tuhostní parametry. [3]

U moderních vozidel je karoserie základní nosnou konstrukcí vozidla, která zahrnuje další části vozidla, jako kapota vozidla, dveře, střecha vozidla a zadní dveře. Karoserie vozidla tvoří zásadní prvek pro ochranu a bezpečnost posádky vozidla. [3]



Obr. 1 Složení komponentů karoserie vozidla Audi A8 [12]

Pro účely této diplomové práce je klíčová boční zóna. Při bočním nárazu musí tato zóna odolat tak, aby nedošlo k větším deformacím, a to z důvodu působení bočního zrychlení, které je pro posádku vozidla nebezpečné. U bočních částí vozidla je také minimální prostor pro deformaci, aniž by došlo k ohrožení posádky. Proto je tato zóna označována jako bezpečnostní, nikoliv deformační. Konstrukce této zóny by tedy měla být při nárazu schopna absorbovat co možná největší množství energie při co možná nejméně deformacích. Z tohoto důvodu mají zásadní vliv boční sloupky, značené od předku vozidla jako sloupky A, B a C. Pro výrobu těchto komponentů se obvykle využívá vysokopevnostních materiálů. Další důležitou součástí bezpečnostní zóny jsou výztuhy dveří, jelikož právě dolní polovina dveří se obvykle nachází ve stejné úrovni jako přední nárazník kolidujícího vozidla. [3]



- Hlavní požadavky na karoserii vozidla:
- Ochrana posádky a nákladu před působením počasí
- Přehledné uspořádání ovládacích a kontrolních prvků
- Zajištění bezpečného výhledu z vozidla do všech směrů
- Aerodynamické provedení tvaru, aerodynamická stabilita
- Poskytnutí komfortu pro posádku, příznivá teplota a odhlučnění interiéru, omezení vibrací vozidla
- Ergonomičnost interiéru a sedadel, dosažitelnost ovládacích prvků z místa řidiče
- Tvarové a prostorové řešení interiéru pro zamezení zranění posádky
- Omezení následků dopravní nehody, zadržovací systémy, bezpečná skla
- Vysoká spolehlivost a životnost
- Estetické řešení interiéru a exteriéru vozidla [3]

## **2.4 ROZLIŠOVÁNÍ SMĚRU PROKLUZU PŘI TEČNÝCH STŘETECH**

Pro řešení pojistných událostí a dalších problémů z oblasti analýzy nehod silničních vozidel je významná otázka směru působení síly. U tečných střetů lze pro zjištění směru prokluzu využít následující čtyři metody:

- Uspořádání deformací na plechových dílech
- Průběh rýh v místech lícování dílů karoserie
- Ulpívání laku karoserie v místech spojení dílů karoserie
- Mikrostruktura povrchu laku [4]

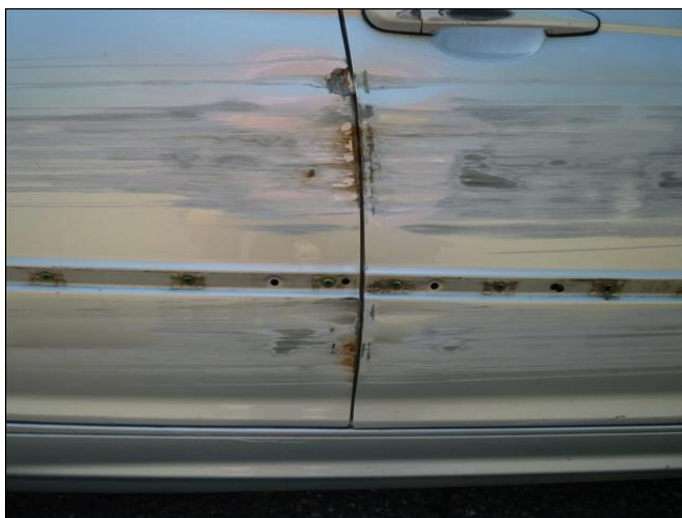
### **2.4.1 Uspořádání deformací na plechových dílech**

Jedná se o nejpoužívanější metodu pro rozlišení směru prokluzu. Výhodou této metody je, že při výrazných deformacích ji lze spolehlivě použít bez potřeby prohlídky poškozeného vozidla, a to prohlídkou fotodokumentace. V případě, že se na vozidle nenachází deformace výraznějšího charakteru, je třeba přistoupit k prohlídce vozidla. Ta je nezbytná pro zajištění nutných důkazů pomocí fotografií nebo demontáže poškozených dílů. [4]

U rozsáhlých deformací kapsovitého či pytlovitého tvaru nedochází k symetrickému promáčknutí dílu. Hloubka promáčknutí se nejprve postupně zvyšuje, maxima dosahuje těsně před tuhou částí karoserie (například A nebo B sloupek), přičemž následně tvoří ostřejší oblouk, který dobíhá ke kraji části karoserie (například dveří). [4]

## 2.4.2 Průběh rýh v místech lícování dílů karoserie

Pro poškození menšího a spíše plošného charakteru (například poškrábání laku), při kterém nedošlo k hlubším deformacím, je důležitý průběh rýh a vrypů, a to především v místech lícování a přechodu jednotlivých dílů karoserie (například v místě mezi předními a zadními bočními dveřmi vozidla). Obecně platí, že nejvhodnější místa pro stanovení směru prokluzu se nachází v přechodových spojích mezi jednotlivými díly karoserie. V případě, že ke vzniku těchto rýh stop nedojde, je možné směr prokluzu stanovit pouze detailní prohlídkou vozidla. [4]



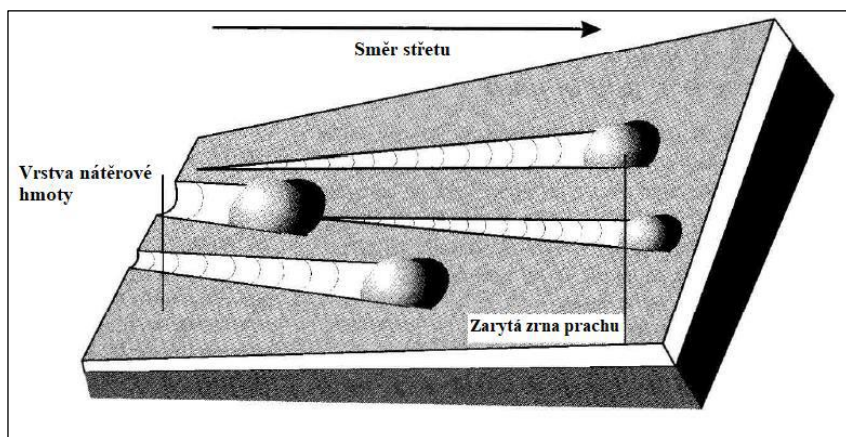
*Obr. 2 Průběh rýh v místě lícování dílů karoserie (archiv vedoucího práce)*

## 2.4.3 Ulpívání částic v místech spojení dílů karoserie

Při tečných střetech vozidel dochází k ulpívání úlomků laku na bocích spolukolidujících vozidel. Tyto úlomky je nejčastěji možné nalézt v místech spojů mezi jednotlivými díly karoserie. Tyto částice obvykle ulpívají na hraně, která směřuje proti směru nárazu a tedy proti směru pohybu spolukolidujícího vozidla. Na protilehlé hraně se takto ulpělé částice nenacházejí. Nevýhoda této metody spočívá ve skutečnosti, že ulpělé úlomky laku na karoserii nevydrží příliš dlouho a při vystavení povětrnostním vlivům tyto stopy již po krátkém čase není možné nalézt. [4]

## 2.4.4 Mikrostruktura povrchu laku

V případě, kdy není možné použít žádnou z výše zmíněných metod, lze směr působící síly určit prozkoumáním struktury povrchu laku v mikroskopickém měřítku. V tomto případě lze dobře využít prachových částic či zrněk písku. Tyto hrubé částice se často vyskytují na lakovaných plochách. V případě, kdy dochází k vzájemnému tření dvou lakovaných ploch, dochází rovněž k zarývání těchto hrubých částic do měkkého povrchu laku. Částice na povrchu zanechávají dlouhé rýhy, které je možné pozorovat a fotografovat v mikroskopickém měřítku. [4]



*Obr. 3 Mikrostruktura povrchu laku [4]*

## 2.4.5 Třecí stopy pneumatik na boku vozidla

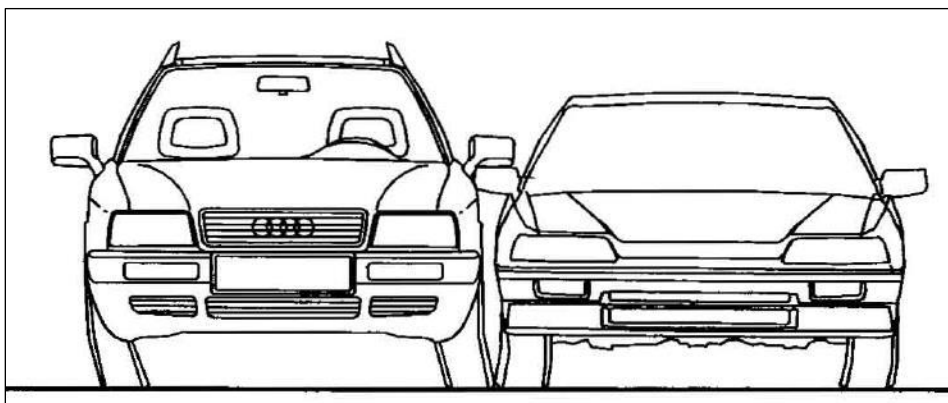
Při bočním střetu vozidel způsobuje boční stěna pneumatiky charakteristickou třecí stopu obloukového tvaru. Z této třecí stopy je možné usuzovat směr tečného střetu. Geometrické vlastnosti této třecí stopy jsou dány zejména průměrem kola a počtem otáček kola, tudíž úhlovou rychlostí a translační rychlostí, přičemž translační rychlost je ekvivalentní rozdílu rychlosti mezi spolukolidujícími vozidly. [4]

Geometrie obloukové stopy je však ovlivňována řadou dalších vlivů, jako například konstrukce těch částí vozidla, které se dostaly do střetu se spolukolidujícím vozidlem, vliv řízení či dynamické pochody. [4]

## 2.5 DYNAMICKÝ POHYB VOZIDLA

Jelikož doba trvání tečných střetů může oproti rázům bez skluzu činit až jednotky sekund, může dojít k příčným výkyvům vozidla. Tyto výkyvy jsou způsobeny pružinami vozidla. Jednotlivé rohy vozidla, případně celý bok vozidla, jsou vlivem sil působících na bok vozidla propružovány. Tímto na boku vozidla vznikají charakteristické kontaktní stopy, které jsou způsobeny spolukolidujícím vozidlem. Tyto stopy mohou být stoupající či klesající. [4]

Vedle pružin mohou být stopy tohoto typu způsobeny také vlivem vlastností pneumatik vozidla. Pružnost pneumatik v příčném směru totiž není zanedbatelná. Je-li pneumatika zatěžována silou v příčném směru, dochází ke změně jejího tvaru. Ve chvíli, kdy příčné zatížení přestane působit, se pneumatika navrácí do tvaru původního. [4]



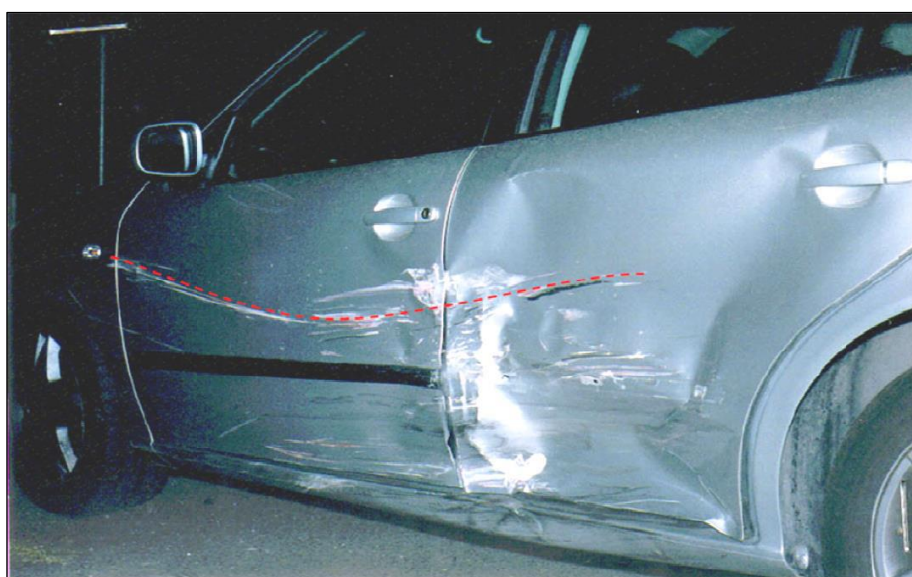
*Obr. 4 Deformace pneumatiky vlivem bočního zatížení [4]*

Při skutečném tečném střetu dochází po skluzném kontaktu nejprve k oddálení vozidla přes díly s vyšší tuhostí. Po propuštění dochází k návratu a opětovnému vzájemnému kontaktu,

příčemž dochází ke vzniku hlubších deformací. Tento jev je způsoben tím, že dochází k pružení konstrukce vozidla jako celku včetně pružnosti kovových dílů, pneumatik, pružin a podobně. [4]

### 2.5.1 Vlastní frekvence příčného naklápění karoserie

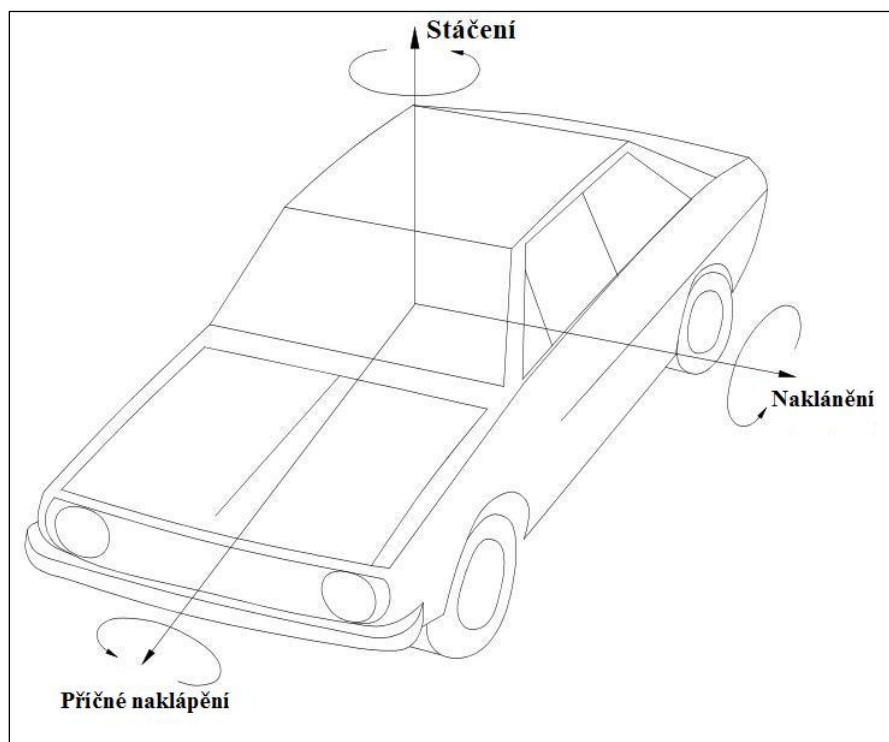
U tečných kolizí je často možné pozorovat sinusoidně zvlněné deformační stopy. Tyto stopy vznikají vlivem vlastní frekvence kmitání karoserie. Pomocí série experimentálních měření bylo zjištěno, že hodnota vlastní frekvence příčných kmitů karoserie se pohybuje v úzkém rozmezí od 1,8 do 2,2 Hz. V případě, že je na boku vozidla možné změřit délku rycí stopy, která odpovídá celé fázi harmonického kyvu, případně alespoň její části, lze z těchto hodnot dostatečně přesně vypočítat nárazovou rychlost vozidla. [5]



*Obr. 5 Sinusoidní stopa na boku poškozeného vozidla [5]*

Vozidlo může vykonávat pohyb kolem tří os.

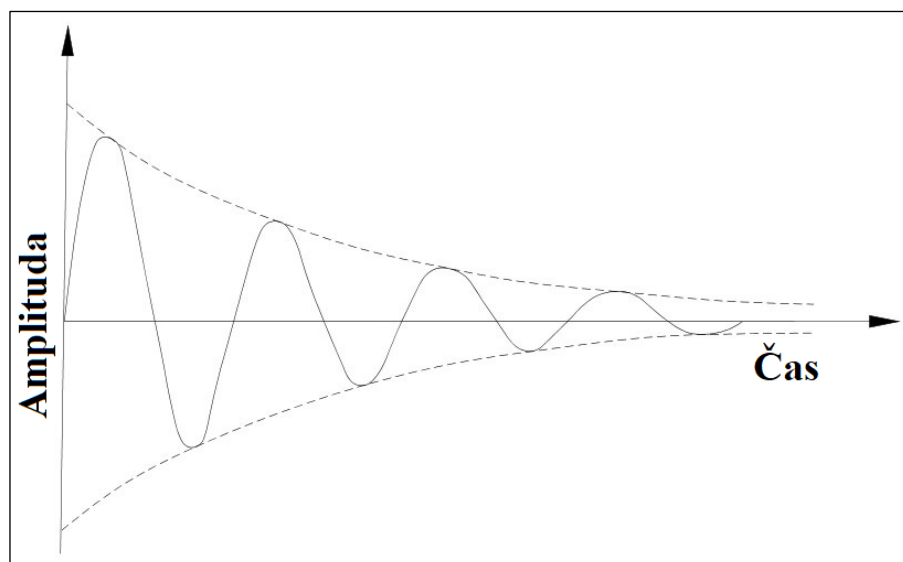
- Stáčení – rotace kolem svislé osy vozidla
- Naklánění – rotace kolem příčné osy vozidla
- Příčné naklápění – rotace kolem podélné osy vozidla [5]



*Obr. 6 Osy rotace vozidla [5]*

Vozidlo je v tomto případě systémem, který je schopen v rámci určitého kmitání tyto pohyby vykonávat. Tento systém lze zjednodušeně matematicky popsat jako oscilátor. V případě, že daný systém neobsahuje tlumicí prvky, odpovídá jeho kmitání sinusoidě, kterou lze popsat velikostí maximální výchylky (amplitudy) a dobou kmitu. Systém, který nebude nijak tlumený, bude periodicky kmitat po nekonečně dlouhou dobu. [5]

V praxi však vozidla obsahují tlumiče, které tlumí jak vertikální pohyby, tak pohyby při naklání a příčném naklápění vozidla. Vedle tlumičů je kmitání karoserie tlumeno také vlivem tření a aerodynamickým odporem vozidla. Tyto tlumicí vlivy mají za následek nekonstantní, s časem klesající amplituda kmitů, která klesá až do dosažení klidového stavu. [5]



*Obr. 7 Tlumení harmonických kmitů v závislosti na čase [5]*

Měřením vlastních frekvencí u 69 typů vozidel byly zjištěny různé hodnoty těchto frekvencí. Tato vozidla byla následně rozdělena do podle toho, zda se jedná o vozidla nižší třídy či střední třídy, a naměřené hodnoty vlastních frekvencí byly pro každou třídu vozidel zpracovány do grafu. [5]

Vzorec pro výpočet rychlosti v době střetu po dosažení času kyvu:

$$t = k * \frac{1}{f} \quad \text{Rovnice 1}$$

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{Rovnice 2}$$

Přičemž:

k – počet kmitů na změřené délce

- Pro celý kmit  $k = 1$
- Pro polovinu kmitu  $k = \frac{1}{2}$
- Pro čtvrtinu kmitu  $k = \frac{1}{4}$

t – čas kmitu

s – délka kmitu

v – relativní kolizní rychlost

Rozhodujícím parametrem je přesné stanovení vzdálenosti mezi dvěma jasně rozpoznatelnými fázemi kmitu, jelikož na tomto vstupním parametru je závislý výsledek výpočtu.



Z tohoto důvodu je tato metoda vhodnější pro použití v případech, kdy jsou dobře rozpoznatelné delší sinusoidní rýcí stopy. [5]

V praxi také mohou nastat situace, kdy se na poškozeném vozidle nacházejí deformační stopy ve tvaru sinusoidy, které však nebyly zapříčiněny příčnými kmity poškozeného vozidla. Tyto „falešné“ sinusoidy mohou vznikat z různých příčin. Jednou z příčin může být skutečnost, že se jedná o rýhu, která opisuje tužší část karoserie vozidla, jako je například výztuha bočních dveří. V takovém případě nelze výše zmíněnou metodu použít. [5]



*Obr. 8 Obloukovitá rýha opisující výztuhu dveří [5]*

Dále lze „falešnou“ sinusoidu nalézt v případě skluzu po výškově tvarovaných dílech. Typickým příkladem jsou blatníky vozidla. Obloukovitou rýcí stopu v těchto případech způsobuje tvar daného dílu, tato stopa je však způsobena horizontálním skluzem, nikoliv příčnými kmity vozidla. [5]



*Obr. 9 Oblouková rýha způsobená tvarem blatníku vozidla [5]*

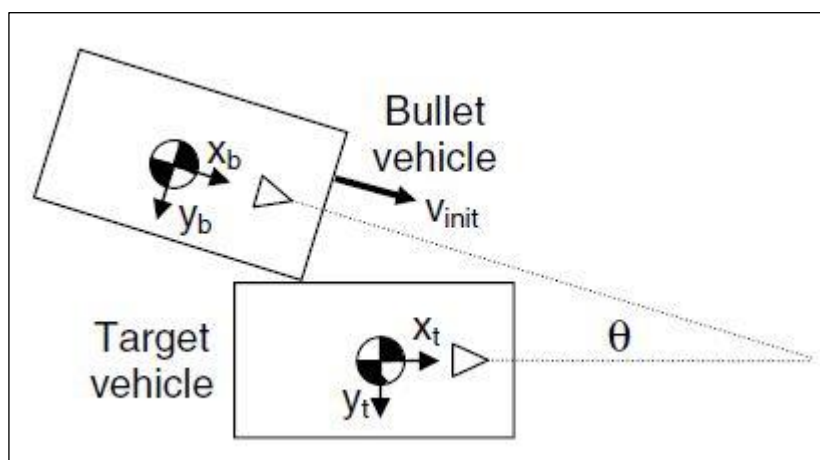


## 2.6 VÝSLEDKY PODOBNÝCH PRACÍ

### 2.6.1 Studie „Analytický model pro zkoumání tečných kolizí v nízkých rychlostech“ – Funk et al. [8]

Cílem této studie bylo vytvořit analytický model pro zkoumání dynamiky vozidla při tečných kolizích a jeho výsledky porovnat s výsledky dosaženými simulačním programem EDSMAC. Pro účely experimentu byla vozidla považována za tuhá tělesa a boční interakce mezi vozidly byla modelována jako lineárně pružná, interakce v podélném směru byla uvažována jako kontakt, při kterém dochází pouze ke tření. Toto představovalo jisté omezení modelu, jelikož při vzájemném „zahákování“ vozidel by docházelo k nepřesnostem. [8]

K ověření teoretického modelu byla provedena řada 7 experimentálních kolizních testů. Ve všech těchto testech se nárazející vozidlo pohybovalo pod úhlem  $15^\circ$  vůči vozidlu stojícímu. Hodnoty nárazové rychlosti v jednotlivých testech se pohybovaly v rozmezí 3 – 10 km/h. Obě vozidla měla pevně zajištěný volant tak, aby kola vozidel směřovala přímo. Jako nárazející vozidlo byl zvolen Ford Taurus model roku 1996, jako stojící vozidlo Buick Skylark model roku 1996. Výběr vozidel zůstal zachován pro všechny testy. [8]



Obr. 10 Střetová konfigurace použitá při experimentu [8]

Levý přední roh nárazejícího vozidla byl odříznut a následně znovu připevněn k vozidlu tak, aby vzniklá konfigurace umožnila umístění měřících zařízení pro měření síly působící mezi vozidly v příčném i podélném směru. Pravý přední roh vozidla zůstal beze změny, aby mohlo být otestováno, zda změny provedené na levém rohu nárazníku výrazně neovlivnily dynamiku nárazejícího vozidla. [8]



*Obr. 11 Upravený roh nárazníku jedoucího vozidla [8]*

Celkem bylo provedeno 7 testů ve dvou sadách, kdy nejprve nárazející vozidlo naráželo upraveným levým rohem svého nárazníku do pravého boku stojícího vozidla (testy označené písmenem M), následně naráželo pravým rohem nárazníku do levého boku stojícího vozidla (testy označené písmenem O). [8]

Test	Místo prvotního kontaktu	Nárazová rychlost [km/h]
M2	přední část zadních dveří	3,4
M4	střed předních dveří	6,4
M6	střed zadních dveří	10,0
O2	přední část zadních dveří	3,2
O3	střed předních dveří	5,3
O4	střed předních dveří	6,4

O6	střed zadních dveří	9,5
----	---------------------	-----

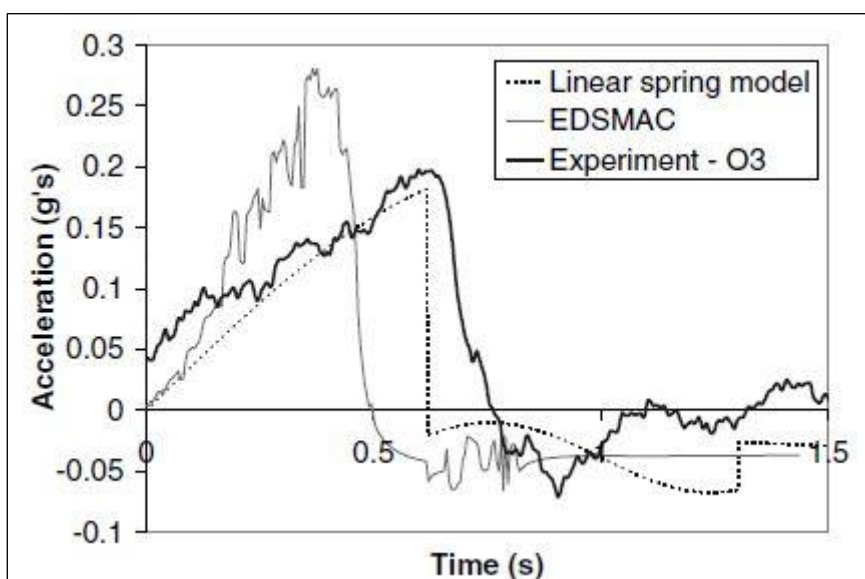
*Tabulka 1 Základní údaje o provedených testech [8]*

Po každém testu byly zaznamenány rozměry a hloubka poškození obou vozidel. Zaznamenané délkové rozsahy poškození boku stojícího vozidla se pohybovaly v rozmezí 51 – 142 cm, rozměr kontaktních stop na nárazníku narážejícího vozidla činil 10 – 20 cm. V žádném z testů nebyla pozorována trvalá deformace nárazníku narážejícího vozidla. Hloubka deformace boku stojícího vozidla v žádném z testů nepřekročila hodnotu 1 cm. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce. [8]

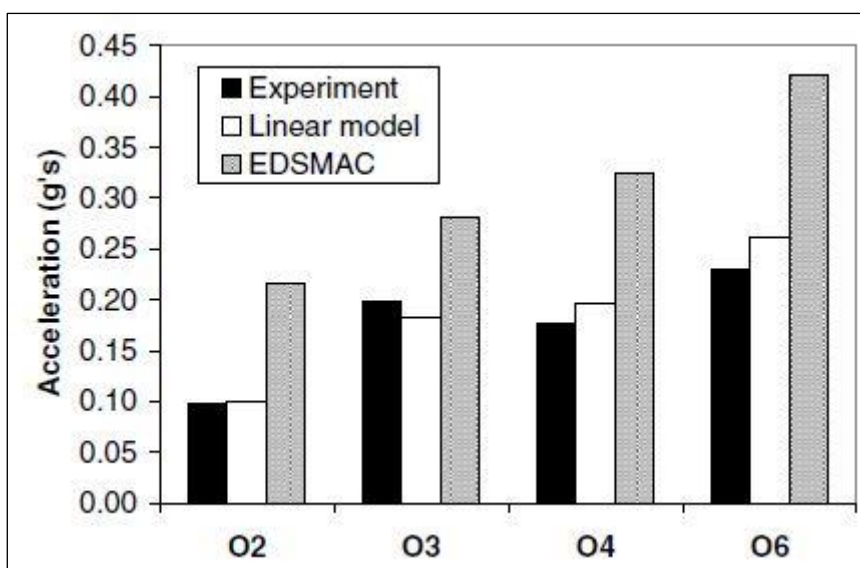
Test	délka trvání kontaktu [ms]	podélné zrychlení [nás. g]	příčné zrychlení [nás. g]	změna rychlosti [km/h]	délka poškození stojícího vozidla [cm]
M2	1000	0,11	-0,08	1,6	53
M4	870	0,21	-0,18	3,2	94
M6	900	0,38	-0,24	5,0	140
O2	830	0,10	0,08	1,4	51
O3	820	0,20	0,12	3,1	69
O4	1070	0,18	0,11	3,4	99
O6	1100	0,28	0,26	4,7	142

*Tabulka 2 Významné hodnoty zjištěné z jednotlivých experimentů [8]*

Výsledky experimentu byly porovnány s ověřovaným teoretickým modelem a s výsledky získanými pomocí simulačního programu EDSMAC. Bylo zjištěno, že ověřovaný model odpovídá skutečným výsledkům experimentu lépe než výstup ze simulačního programu. Simulační program předpokládal vyšší maximální hodnotu zrychlení a kratší čas střetu oproti skutečnosti a jeho průměrná odchylka předpokládané nejvyšší hodnoty podélného zrychlení od hodnoty skutečné činila 83%. Oproti tomu stejná odchylka ověřovaného lineárně pružného modelu činila 5%.[8]



Obr. 12 Graf porovnávající průběh podélného zrychlení z jednotlivých zdrojů (Linear spring model – lineárně pružný model; EDSMAC – sim. Program EDSMAC; Experiment O3 – data z ukázkového experimentu) [8]



Obr. 13 Graf porovnávající hodnoty podélného zrychlení z různých zdrojů pro vybrané experimenty (Experiment – hodnota získaná experimentálně; Linear model – hodnota získaná za použití lineárně pružného modelu; EDSMAC – hodnota ze simulačního programu EDSMAC) [8]

Porovnána byla rovněž experimentálně zjištěná hloubka deformace a délkový rozsah poškození na stojícím vozidle s hodnotami předpokládanými simulačním programem. Toto porovnání lze vidět v tabulce. [8]

Test	hloubka poškození (měřeno v palcích)		délkový rozsah poškození (měřeno v palcích)	
	hodnota - experiment	hodnota - simulace	hodnota - experiment	hodnota - simulace
O2	0	1,6	20	16
O3	0	1,6	27	13
O4	<0,25	1,4	39	9
O6	0,25	2,3	56	26

*Tabulka 3 Porovnání rozsahů poškození získaných ze sim. programu a experimentálně [8]*

Závěrem bylo konstatováno, že ověřovaný analytický model s lineární pružností prokazuje zejména při predikci průběhu a maximálních hodnot zrychlení přesnější výsledky než simulační program EDSMAC. Rovněž bylo sděleno, že výsledky experimentu poukazují na skutečnost, že tečné kolize, při kterých změny rychlosti dosahují hodnoty méně než 5 km/h, jsou charakterizovány poměrně dlouhými časy trvání střetu (~1 s) a nízkými hodnotami zrychlení. Zároveň však bylo konstatováno, že pouze na základě pozorování poškození vozidel nelze plně rekonstruovat průběh tečné kolize, jelikož podobné rozsahy poškození lze pozorovat při různých nárazových konfiguracích, a je tudíž nezbytné odhadnout úhel střetu pomocí dostupných způsobů, jako je například korespondence geometrie poškození, vzhled místa střetu či výpovědi svědků. [8]

### **2.6.2 Studie „Analýza tečných kolizí ve vysokých rychlostech za pomoci dat naměřených při nárazových testech s malým překrytím“ – Brach et al. [10]**

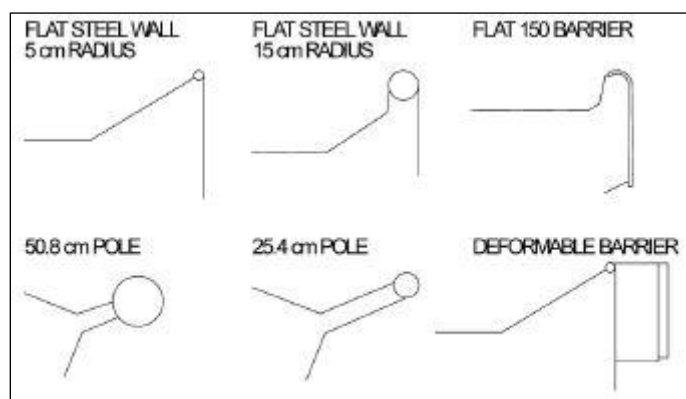
Tato studie využívala řady nárazových testů provedených americkým institutem IIHS. Tyto nárazové testy byly prováděny jako čelní střety s malým překrytím v rozsahu 20% - 28% z celkové šířky vozidla. Celkem bylo provedeno 41 testů, při kterých vozidlo naráželo do pevné překážky, a 9 testů, kdy vozidlo naráželo do jiného vozidla. Vlivem nízkého překrytí při nárazu bylo stanoveno, že řada těchto kolizí může být považována za tečné kolize. [10]

Studie rovněž uvádí několik příkladů, jak lze definovat tečné kolize, a to:

- kolize, při které dochází ke kontaktu pouze po boku vozidla
- kolize, při které dochází ke kluznému kontaktu, obvykle v malých rychlostech a s malou mírou poškození
- kolize, kdy se vozidlo po střetu pohybuje v přibližně stejném směru jako před střetem
- kolize, při které dochází k delšímu kluznému kontaktu kolidujících ploch a k malému poškození

Jako nejnázornější definici však studie předpokládá, že tečná kolize je taková kolize, kdy po celou dobu kontaktu dochází ke kluznému pohybu jedné kolidující plochy vůči druhé. Při analýze videozáznamů z provedených testů byla tato definice použita jako rozhodující kritérium, zda při testu došlo k tečné kolizi či nikoliv. Testy byly následně roztrženy na kolize tečné a kolize ostatní. [10]

Při nárazech vozidla do pevné překážky bylo použito několik typů pevných překážek.

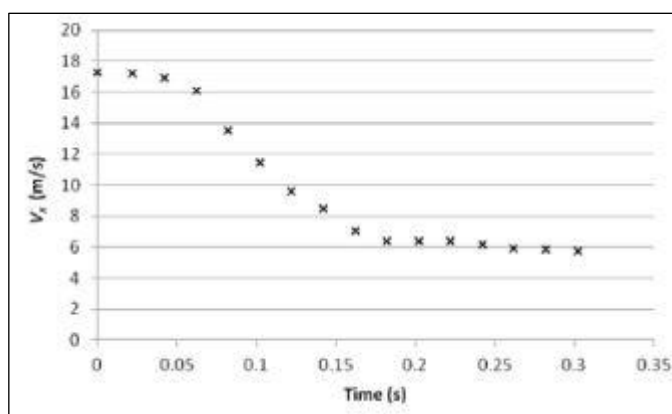


*Obr. 14 Typy použitých pevných překážek [10]*

Za použití dostupných videozáznamů byl stanoven průběh rychlosti vozidla při každém testu. Na obrázcích níže lze vidět deformaci vozidla při jednom z tečných nárazů a průběh jeho podélné rychlosti. [10]



Obr. 15 Průběh střetu vozidla s překážkou [10]



Obr. 16 Graf vykreslující naměřené hodnoty podélné rychlosti v závislosti na čase [10]

Pomocí dat naměřených při nárazových testech byly pro každý test následně stanoveny parametry koeficient restituce, poměr impulsů sil a orientace poškozené plochy v závislosti na míře překrytí. Všechna získaná data byla rovněž roztržena podle skutečnosti, zda se jednalo o tečnou kolizi či nikoliv. Závěrem bylo konstatováno, že takto získaná a roztržena data svým rozsahem poskytují dobrý základ pro rekonstrukci tohoto druhu kolizí. Zároveň však bylo zmíněno, že je nezbytné pokračovat ve výzkumu zejména v oblasti kolizí dvou vozidel, jelikož většina získaných dat pocházela z kolizí vozidla s pevnou překážkou. Celkem bylo určeno 6 kolizí tečného charakteru mezi dvěma vozidly a 24 kolizí tečného charakteru mezi vozidlem a pevnou překážkou. Rovněž bylo shledáno, že naprostá většina vozidel použitá při testech byla vozidla typu sedan, tudíž by bylo hodnotné provést podobné experimenty například s pickupy či dodávkovými automobily. [10]

### 2.6.3 Statistická analýza nehod při změně jízdního pruhu – studie NHTSA [11]

Jedná se o studii provedenou institutem Národní správy pro bezpečnost silniční dopravy (National Highway Traffic Safety Administration, zkráceně NHTSA). Cílem této studie bylo definovat problematiku dopravních nehod, ke kterým dochází při přejíždění vozidla z jednoho pruhu do druhého a statisticky vyhodnotit různé scénáře a předstřetové konfigurace, které těmto nehodám předcházejí. Tato statistika pak měla dále sloužit jako podklad pro další výzkum bezpečnosti silničního provozu a pro zavedení protopatření zaměřených na tyto typy nehod, a to z hlediska konstrukce vozidel i pozemních komunikací. [11]

Termín „nehoda způsobená změnou jízdního pruhu“ byl pro účely tohoto výzkumu definován jako kolize dvou vozidel, jejichž trajektorie jízdy před střetem byly rovnoběžné a jejichž směr pohybu před střetem byl stejný. Z výzkumu byly vyloučeny nehody, kdy se vozidla před střetem pohybovala proti sobě, jakož i nehody způsobené ztrátou kontroly vozidla, nehody mimo komunikaci a nehody zahrnující chodce, cyklisty, zvěř a objekty nacházející se v okolí komunikace. [11]

Data pro výzkum byla získána z reálných dopravních nehod, hlášených policií, přičemž do kategorie nehod vlivem změny jízdního pruhu spadalo celkem 475 000 takto hlášených dopravních nehod. [11]

Následně byla provedena rozsáhlá statistická analýza, která zkoumala množství vzniklých nehod v závislosti na rozličných faktorech v místě nehody. Těmito zkoumanými faktory byly uspořádání jízdních pruhů, nejvyšší povolená rychlost, směrový a výškový profil komunikace, faktory zohledňující chování řidiče a environmentální podmínky, rovněž byla zpracována statistika závažností zranění pasažérů. Bylo také identifikováno několik základních scénářů, při kterých k těmto nehodám došlo. Klasifikace těchto předstřetových scénářů byla následovná, čísla v závorkách udávají procentuální zastoupení z celkového počtu analyzovaných nehod: [11]

- „obvyklá“ změna jízdního pruhu – vozidla se před střetem pohybují rovnoběžně ve stejném směru; řidič jednoho z vozidel začne záměrně přejíždět ze svého jízdního pruhu, což vede ke kolizi (38,4 %)
- zatáčení na křižovatce – vozidla se pohybují rovnoběžně stejným směrem, při zatáčení jedno vozidlo zatočí do cesty druhému (16,4 %)
- zanášení – vozidlo přejede bez zjevného důvodu do jízdního pruhu druhého vozidla (11,5 %)



- předjíždění spolu se zatáčením – jedno z vozidel odbočuje, zatímco druhé se jej pokouší předjet (8,6 %)
- předjíždění – kolize předjíždějícího vozidla s předjížděným nebo kolize dvou vozidel, kdy jedno z nich předjíždělo třetí, nezúčastněné vozidlo (5,0 %)
- vyjíždění z parkovacího stání – vozidlo opouští parkovací stání a snaží se připojit do jízdního pruhu, kde se pohybuje jiné vozidlo (4,7 %)
- sjíždění do jednoho pruhu – vozidlo vjede do jízdního pruhu, kde se pohybuje jiné vozidlo, v místech sjíždění jízdních pruhů, například při připojování se na dálnici (3,5 %)
- jiné – jedná se o kolize, u nichž nebyl znám předstřetový pohyb, nebo u kterých nemohl být předstřetový pohyb začleněn do jedné z předchozích kategorií (11,9 %)

Rozdělení počtu dopravních nehod podle uspořádání pozemní komunikace vzhledem k počtu jízdních pruhů, povolené rychlosti a směrovému a výškovému profilu komunikace v místě nehody poskytlo následující výsledky: [11]

- místa se dvěma či méně jízdními pruhy: 37 % (znalost počtu jízdních pruhů v místě nehody je uváděna jen u 67 % z celkového počtu nehod)
- křižovatky: 40 %
- místa mimo křižovatky: 43%
- místa s nejvyšší povolenou rychlostí pod 55 mílí za hodinu (88 km/h): 58% (znalost nejvyšší povolené rychlosti je uváděna jen u 75 % z celkového počtu nehod)
- místa s přímým směrovým uspořádáním komunikace: 89 % (znalost směrového uspořádání komunikace je uváděna jen u 93 % z celkového počtu nehod)
- místa s rovným výškovým profilem komunikace: 54 % (znalost výškového profilu komunikace je uváděna jen u 66 % z celkového počtu nehod)

Dále byla provedena identifikace dalších faktorů, které se týkaly osoby řidiče a které mohly nějakým způsobem přispívat ke vzniku zkoumaného typu dopravních nehod. Statistická analýza poukázala na následující faktory a stanovila jejich procentuální zastoupení: [11]

- nesoustředěnost řidiče – zahrnuje rozptýlení pozornosti způsobené ostatními pasažéry vozidla, přístroji vozidla, telefonování za jízdy a jiné vnější podněty (15 %)
- jiné porušení zákona – zahrnuje zejména řízení bez platného řidičského oprávnění nebo nedodržení zákazu řízení (13 %)
- ujetí z místa nehody (6 %)
- řízení pod vlivem alkoholu či drog (1 %)
- nerespektování dopravního značení (1%)

- fyzické postižení řidiče – značí únavu, ztrátu vědomí, nemoc či následky spojené s předchozím zraněním (0 %)
- překročení povolené rychlosti (0 %)
- ovlivnění zraku řidiče – zahrnuje vliv povětrnostních podmínek, oslnění světly protijedoucích vozidel, či zakrytí výhledu objekty v okolí komunikace (0 %)
- jiné – případy, kdy faktory ovlivňující řidiče a jeho chování nebyly určeny (64 %)

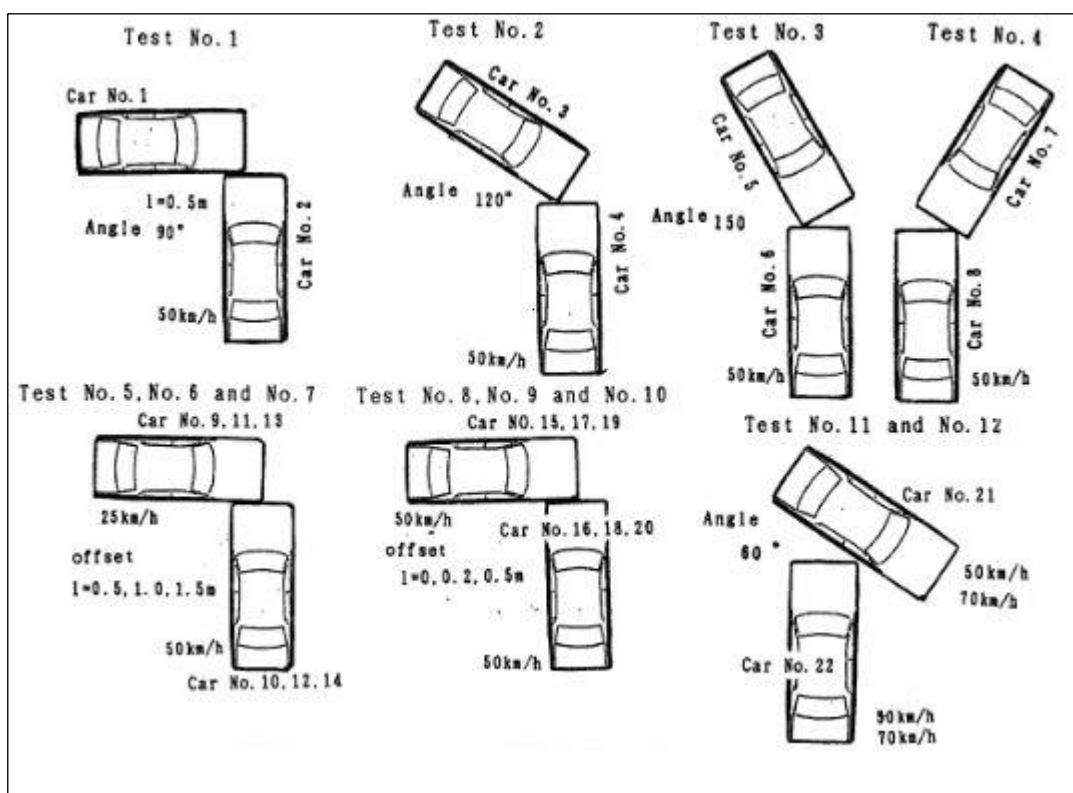
Jelikož pro výše zmíněnou kategorii „jiné“ nemohly být definovány žádné faktory ovlivnění řidiče, byla tato skupina nehod podrobena zkoumání environmentálních faktorů, které mohly mít vliv na vznik těchto nehod. Pro výše zmíněných 64 % z celkového počtu nehod, které byly uvedeny v kategorii „jiné“, byly následně stanoveny tyto environmentální podmínky a jejich procentuální zastoupení: [11]

- den, příznivé povětrnostní podmínky: 73 %
- noc, příznivé povětrnostní podmínky: 16 %
- den, nepříznivé povětrnostní podmínky: 7 %
- noc, nepříznivé povětrnostní podmínky: 4 %

Na základě těchto výsledků bylo konstatováno, že nehody, ke kterým došlo ve dne za příznivých povětrnostních podmínek, mohly být způsobeny nezkušeností řidiče či nevěnováním dostatečné pozornosti řízení vozidla z blíže neurčených důvodů. Dále bylo shledáno, že u zbývajících procenta nehod z kategorie „jiné“ byla určujícím faktorem patrně snížená viditelnost v důsledku momentálních environmentálních a povětrnostních podmínek. [11]

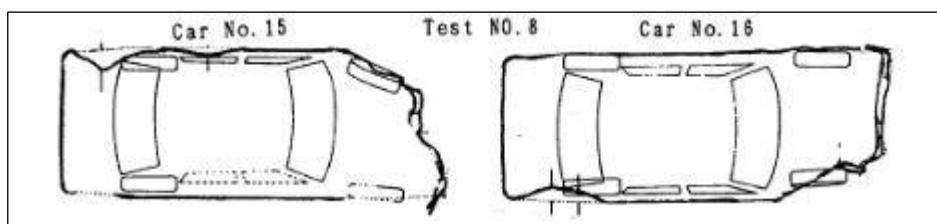
## 2.6.4 Určení střetové konfigurace pomocí charakteru deformace vozidla – Ueyama et al.

Tato studie se zabývá určením střetové konfigurace za pomoci využití charakteru deformace vozidla. Pro účely studie bylo provedeno 12 nárazových testů v různých střetových konfiguracích, jak lze vidět na obrázku níže. Použitá vozidla byla ve studii specifikována pouze jako vozidla japonské výroby o hmotnosti 1000 kg a rozvoru 1355 mm. Střetové konfigurace byly zvoleny tak, aby simulovaly situace ze skutečného provozu. [13]



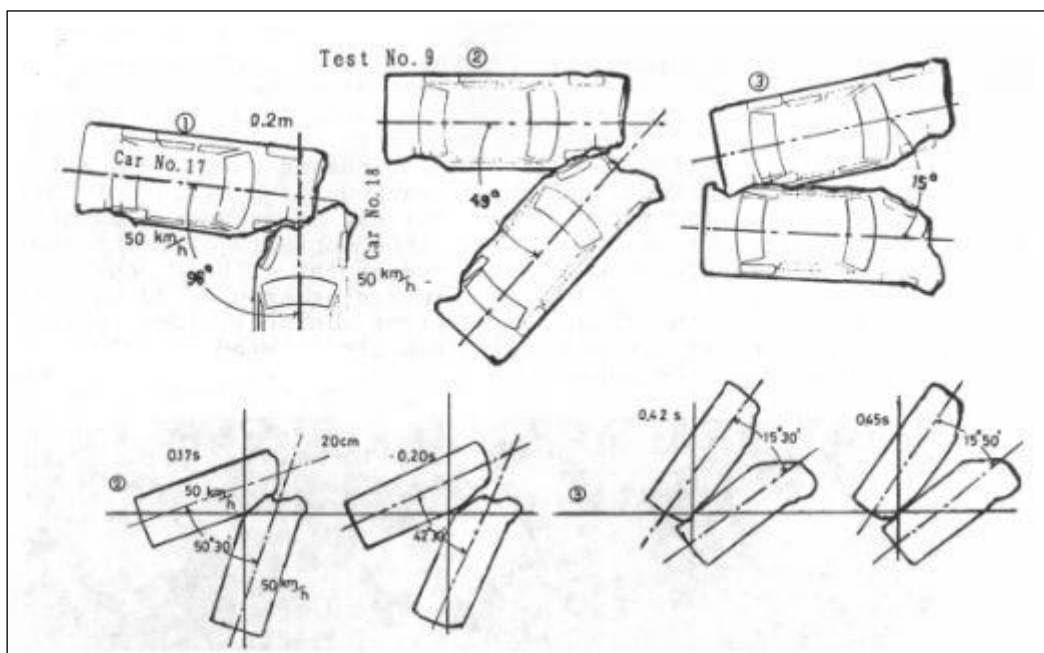
Obr. 17 Střetové konfigurace vozidel použité při experimentu [13]

V průběhu nárazových testů byla vozidla snímána vysokorychlostními kamerami, obrazová dokumentace byla rovněž pořízena po provedení každého testu. Pomocí této dokumentace bylo následně zpracováno grafické znázornění vzniklých deformací. [13]



Obr. 18 Grafické znázornění deformací z jednoho z experimentů [13]

Za použití takto zpracovaných znázornění bylo následně přistoupeno k rekonstrukci střetové konfigurace. Z pořízených videozáznamů bylo zjištěno, že maximální hloubky deformace nastaly v časovém rozmezí 60 – 120 ms po střetu vozidel. Bylo konstatováno, že do okamžiku dosažení maximální hloubky deformace docházelo jen k malé rotaci obou vozidel. Zhodnocením korespondence charakterů poškození spolukolidujících vozidel bylo vytvořeno grafické znázornění výchozích střetových konfigurací, přičemž jako prvotní nastavení vozidel byla uvažována konfigurace v čase dosažení maximální hloubky deformace. Následně bylo provedeno porovnání předpokládaného průběhu kolize s využitím grafických znázornění poškození s výsledky získanými analýzou videozáznamů. [13]



*Obr. 19 Porovnání průběhu střetu odvozeného pomocí korespondence poškození (nahore) s průběhem získaným z videozáznamu (dole) [13]*

Závěrem bylo konstatováno, že střetová konfigurace v okamžiku dosažení maximální hloubky deformace může být pomocí této metody určena dostatečně přesně, podmínkou je však detailní zpracování grafického modelu poškození. [13]

### 3 ANALÝZA DAT NAMĚŘENÝCH PŘI NÁRAZOVÝCH ZKOUŠKÁCH

Tato kapitola popisuje nárazové zkoušky prováděné Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně. Experimenty byly prováděny tím způsobem, že do stojícího vozidla natočeného v určitém úhlu narazilo vozidlo pohybující se určitou rychlostí.

#### 3.1 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

##### 3.1.1 XL Meter

XL Meter je bateriově napájené měřicí zařízení, které je schopné měřit zrychlení a zpomalení vozidla. Výrobce tohoto zařízení je firma Inventure. [6]

Interní paměť zařízení umožňuje uložit až 8 různých měření. Maximální délka jednoho měření činí 40 sekund, přičemž doba trvání posledního osmého měření může být až 80 sekund. Zařízení pracuje se vzorkovací frekvencí 200 Hz. Při experimentu bylo zařízení upevněno pomocí vakuové přísavky na vnitřní straně čelního skla a v ose podélné polohy těžiště vozidla. Po upevnění a zapnutí přístroje je nutné jej vyrovnat tak, aby byl ve vodorovné poloze. Když je tato podmínka splněna, je možné začít měření. [6]

Data získaná z měření a uložená v přístroji byla stažena do počítače v podobě souboru .XDH. Tento soubor je možné otevřít pomocí programu XL Vision, který umožní zobrazit průběh zrychlení a exportovat data do textového souboru. Takto exportovaná data byla dále zpracována v programu Microsoft Excel. [6]



*Obr. 20 XL Meter [6]*

### 3.2 MÍSTO REALIZACE EXPERIMENTU

Pro porovnatelnost experimentu s reálnou nehodou bylo nezbytné zvolit vhodnou plochu s asfaltovým povrchem. Vybrané místo se nachází v areálu bývalých hangárů v obci Starý Mateřov na okraji Pardubic.



*Obr. 21 Místo provedení experimentu [7]*

Povrch plochy byl asfaltový, zpevněný a bez nečistot; po každém simulovaném nárazu byla plocha zametena, aby se na ní nenacházely střepiny z vozidel. Sklon plochy byl téměř nulový, síly vznikající vlivem bočního sklonu plochy bylo tedy možné zanedbat. Podobně jako v případě práce T. Prause [4] byl na plochu vyznačen rastr, který měl umožnit snazší identifikaci počátečních a koncových poloh vozidel i umístění záznamových zařízení. Vedení jedoucího vozidla do místa střetu bylo, tak jako u předchozích prací T. Prause a F. Bučka, zajištěno použitím vodící tyče v dohledu od místa střetu a tenkého průzoru na čelním skle jedoucího vozidla. Tento průzor byl vyznačen pomocí barevné lepicí pásky. Nastavení vozidel bylo takové, že ke střetu jedoucího vozidla se stojícím došlo přibližně v nulové úrovni rastru, přičemž řidič jedoucího vozidla jel pomocí vodící tyče.

### 3.3 POŘÍZENÍ ZÁZNAMU EXPERIMENTU

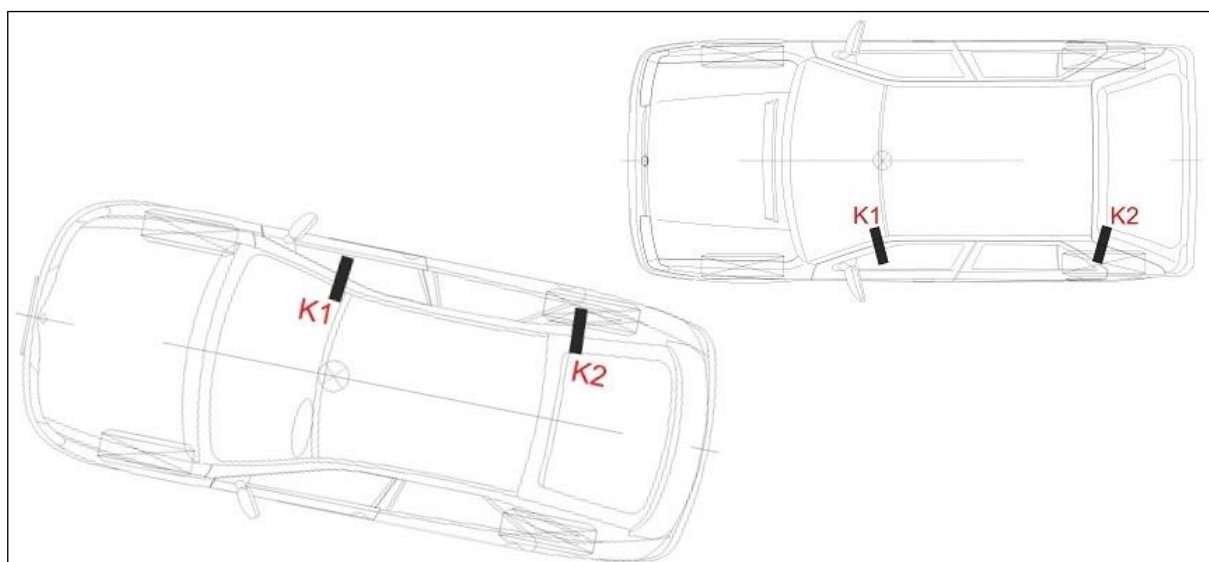
Pro pořízení videozáznamů z průběhu experimentu byly použity videokamery, které byly umístěny na ploše i na vozidlech.

Kamery byly rozmístěny na ploše tak, aby jejich záběr směřoval k místu střetu, následujícím způsobem:

- jedna kamera umístěna tak, aby místo střetu snímala zezadu, tzn. ve směru jízdy
- jedna kamera umístěna tak, aby místo střetu snímala zepředu, tzn. proti směru jízdy
- jedna kamera umístěna v úrovni místa střetu kolmo ke směru jízdy snímající stojící vozidlo ze strany, do které byl veden náraz

U opačné střetové konfigurace vozidel bylo rozmístění kamer zrcadlově zaměřeno podle osy pohybu jedoucího vozidla.

Vedle kamer umístěných na ploše byly další kamery instalovány na vozidlech. Na jedoucím vozidle byla umístěna jedna kamera v interiéru vozidla tak, aby snímala řidiče zezadu a mírně ze strany. Tato kamera snímala především zásahy řidiče do řízení vozidla. Druhá kamera na jedoucím vozidle byla umístěna v interiéru vozidla tak, aby zabírala prostor před vozidlem pohledem skrze čelní sklo. Další dvě kamery byly na vozidle umístěny tak, aby zabíraly místo kolize. Obě byly umístěny na karoserii vozidla, přičemž jedna na přední části a druhá na zadní části vozidla. Na stojícím vozidle byly obdobným způsobem umístěny další dvě kamery, jak je znázorněno na obrázku.



*Obr. 22 Rozmístění kamer na vozidlech (vlastní práce autora)*

### **3.4 PŘÍPRAVA VOZIDEL**

Všechna vozidla použitá při experimentu byla převzata z vrakoviště, zároveň však byla v takovém technickém stavu, který umožňoval jejich použití při experimentu. Pomocí nájezdových vah bylo změřeno zatížení jednotlivých kol každého vozidla a odpovídající údaj byl následně vyznačen nad každým kolem. Za použití barevného spreje byla na vozidla vyznačena poloha těžiště a reflexní body, na střechu vozidla bylo takto zaznamenáno kódové označení vozidla v rámci experimentu. Současně bylo barevným sprejem přestříkáno všechno starší poškození, které se na vozidlech nacházelo v místech předpokládané kolize.



## 4 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Skutečnost, zda velikost rychlosti ovlivňuje poškození vznikající při tečných kolizích vozidel, byla zkoumána provedením několika nárazových testů. Pro porovnatelnost získaných dat bylo použito typově srovnatelných vozidel s výrazně blízkými rozměry a hmotnostmi.

Náraz pohybujícího se vozidla měl být veden do míst těsně před zadní nápravou. Během kolize by nemělo docházet ke zrychlování ani zpomalování vozidla, stejně tak by nemělo docházet k zásahům řidiče do řízení vozidla.

Byly provedeny dvě sady zkoušek, každá po čtyřech nárazech. Při první sadě zkoušek byl náraz veden tak, že podélné osy vozidel svíraly úhel 11°, u druhé sady zkoušek byl tento úhel změněn na 14°. V každé sadě zkoušek byly provedeny 4 nárazy, každý vedený v jiné rychlosti, které byly voleny v rozmezí 15 km/h až 45 km/h.

Po provedení každé jednotlivé zkoušky bylo zdokumentováno poškození obou vozidel, jejich konečné polohy a všechny stopy, které se nacházely na místě střetu. Všechny střepiny, úlomky a další pozůstatky, které se mohly na místě střetu nacházet, byly po každé zkoušce z místa odstraněny.

### 4.1 ZKOUŠKY POD ÚHLEM 11°

V této sadě zkoušek byly provedeny 4 nárazové testy. Při prvním testu bylo použito vozidlo Renault Laguna jako stojící vozidlo a vozidlo Škoda Felicia jakožto vozidlo jedoucí, nárazující. Rychlost nárazujícího vozidla v této konfiguraci činila přibližně 15 km/h. Vozidlo Škoda Felicia narazilo svým předním levým rohem nárazníku do zadního pravého boku vozidla Renault Laguna v oblasti kolem zadní nápravy.

Při druhém testu byla použita stejná vozidla, avšak náraz byl veden z opačné strany, tedy tak, že vozidlo Škoda Felicia narazilo svým předním pravým rohem nárazníku do zadního levého boku vozidla Renault Laguna v místech zadní nápravy. Opětovné použití obou vozidel pro tuto zkoušku bylo možné z toho důvodu, že obě vozidla byla po předchozím nárazu stále provozuschopná. Rychlost nárazujícího vozidla v této konfiguraci činila přibližně 25 km/h.

Při třetím a čtvrtém testu byla použita jiná dvojice vozidel, avšak aby byla zajištěna porovnatelnost výsledků získaných z testů, byla použita opět vozidla typu Škoda Felicia a Renault Laguna. Při třetím testu naráželo vozidlo Škoda Felicia svým předním levým rohem nárazníku do pravého zadního boku vozidla Renault Laguna v místě zadní nápravy. Jedoucí vozidlo se v této

konfiguraci pohybovalo rychlostí přibližně 30 km/h. Jelikož byla obě vozidla po provedení tohoto testu stále provozuschopná, bylo možné je použít i při následujícím testu.

Při čtvrtém testu vozidlo Škoda Felicia narazilo svým předním pravým rohem nárazníku do levého zadního boku vozidla Renault Laguna. Rychlost vozidla Škoda Felicia v této konfiguraci činila přibližně 40 km/h.

Po každém testu byla provedena fotodokumentace konečných poloh obou vozidel a poškození vozidel, které bylo vyfotografováno z více úhlů. Dále byla provedena kontrola místa střetu a dokumentace případných stop, které se v místě střetu mohly nacházet. Z místa střetu byly následně odstraněny úlomky vzniklé při kolizi vozidel.

## **4.2 ZKOUŠKY POD ÚHLEM 14°**

V této sadě zkoušek byly provedeny 4 nárazové testy. Provedení zkoušek bylo obdobné jako u testů pod úhlem 11°.

Při prvním testu bylo použito vozidlo Škoda Felicia jako vozidlo narážející a vozidlo Peugeot 406 jako vozidlo stojící. Rychlost pohybujícího se vozidla činila v této konfiguraci přibližně 15 km/h. Vozidlo Škoda Felicia narazilo svým předním levým rohem nárazníku do pravého boku vozidla Peugeot 406 v místě zadní nápravy. Obě vozidla zůstala po provedení testu provozuschopná a tudíž byla použitelná i pro další test.

Ve druhém testu byla použita stejná vozidla, vozidlo Škoda Felicia se pohybovalo rychlostí přibližně 25 km/h a narazilo svým předním pravým rohem nárazníku do levého boku vozidla Peugeot 406. Z videozáznamu je patrné, že náraz byl veden do míst těsně před zadní nápravou vozidla Peugeot 406.

Aby bylo možné výsledky testů porovnávat, byla pro následující dva testy připravena dvojice vozidel shodných typů, tedy stacionární vozidlo opět Peugeot 406, pohybující se vozidlo Škoda Felicia. Ve třetím testu narazilo vozidlo Škoda Felicia svým levým předním rohem nárazníku do pravého boku vozidla Peugeot 406 v místech kolem zadní nápravy. Rychlost pohybujícího se vozidla činila v této konfiguraci přibližně 35 km/h. Při kolizi došlo u pohybujícího se vozidla ke zlomení levé poloosy přední nápravy, vozidlo tudíž nebylo dále použitelné pro následující test. Z toho důvodu bylo nezbytné nahradit jej jiným na místě dostupným vozidlem se srovnatelnými hmotnostními parametry. K tomuto účelu bylo vedením experimentu vybráno vozidlo Daewoo Matiz.

Ve čtvrtém testu bylo jako stojící vozidlo opětovně použito vozidlo Peugeot 406, jako pohybující se vozidlo bylo namísto poškozeného vozidla Škoda Felicia použito vozidlo Daewoo Matiz. Rychlost v této konfiguraci činila přibližně 45 km/h. Pohybující se vozidlo narazilo svým pravým předním rohem nárazníku do levého boku stojícího vozidla v místě zadní nápravy.

Stejně jako u testů pod úhlem  $11^\circ$  byla vozidla po každém testu vyfotografována, stejně jako poškození nacházející se na vozidlech a možné stopy na místě střetu.

## 4.3 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

### 4.3.1 Úhel $11^\circ$ - pokus číslo 1

Z podélného zrychlení z XL metru byla vypočtena rychlost vozidla Škoda Felicia. Hodnota rychlosti v okamžiku těsně před střetem činí dle výpočtu 16,18 km/h (4,49 m/s).

Na narážejícím vozidle bylo možné zřetelně rozpoznat poškození levého předního rohu nárazníku, poškozené bylo rovněž směrové světlo. Větší poškození se nacházelo na levém předním blatníku, kde bylo možné jednoduše rozpoznat deformace plechových dílů a dřecí stopy. Na zbytku levého boku vozidla se již další rozpoznatelné poškození nenacházelo.



*Obr. 23 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 1 pod úhlem  $11^\circ$*

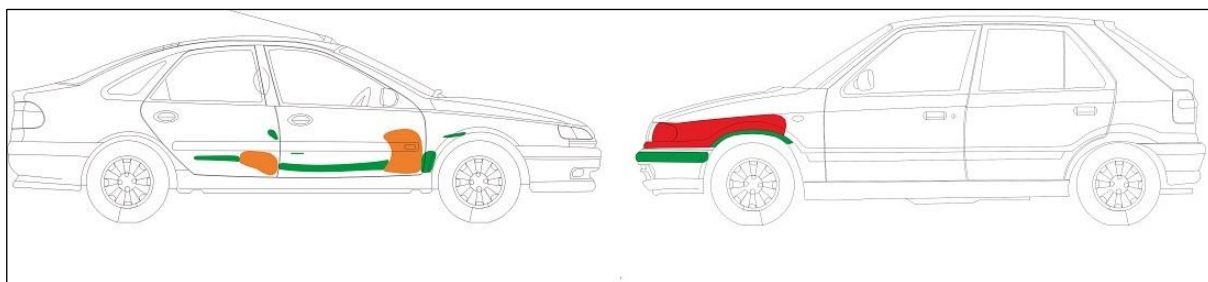
Na stojícím vozidle bylo na jeho pravém boku možné pozorovat dřecí stopy, které začínají na zadních dveřích a pokračují přes přední dveře až k blatníku. Tyto dřecí stopy se nacházejí ve výšce 40 – 50 cm, což rozměrově koresponduje s levým rohem předního nárazníku narážejícího vozidla. Dále bylo možné pozorovat menší deformace plechových dílů, a to v místech těsně před předělem mezi předními a zadními dveřmi vozidla a předělem mezi předními dveřmi a blatníkem. Toto poškození rozměrově odpovídá poškození blatníku jedoucího vozidla.



*Obr. 24 Poškození stojícího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 11°*

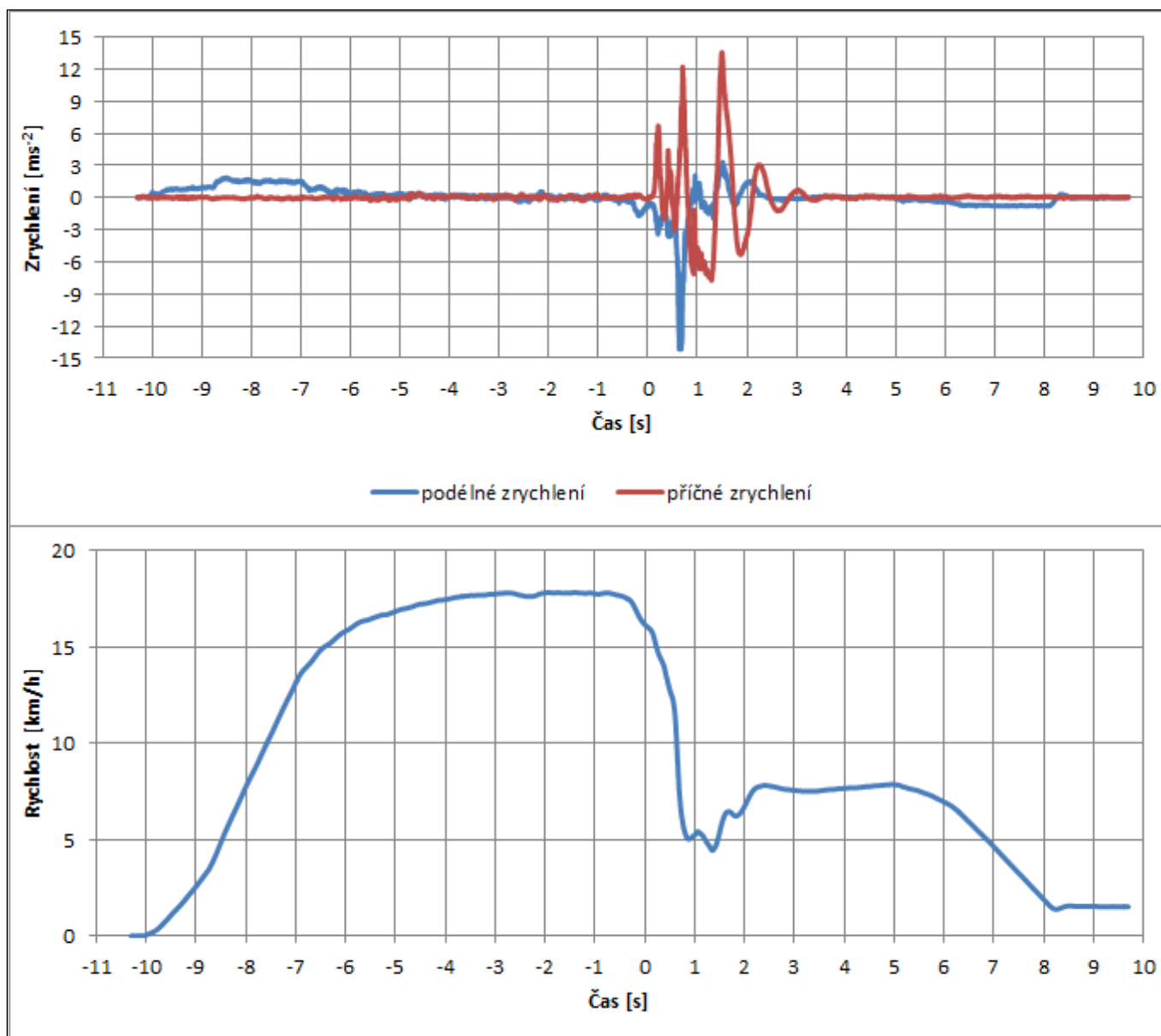
Při pokusu došlo k zaklesnutí levého předního kola jedoucího vozidla do pravého předního kola stojícího vozidla, na pneumatikách a na ráfcích kol však nebyly patrné žádné stopy mechanického poškození. Lze však předpokládat, že v důsledku této skutečnosti došlo k porušení geometrie přední nápravy u obou vozidel. Celý proces je možné pozorovat na několika videozáznamech z kamer umístěných na vozidlech. Za pomoci dostupných videozáznamů lze počátek zaklesnutí kol umístit do času 0,6 s. Následně dochází k příčnému naklopení jedoucího vozidla a nadzvednutí levého boku vozidla do vzduchu, po dopadu zpět na vozovku v čase 1,4 s vozidlo pokračuje v pohybu v původním směru.

Vzniklá poškození byla graficky znázorněna tak, jak lze vidět na obrázku. Za účelem přesnějšího hodnocení poškození byly zvoleny tři kategorie. Zelená kategorie značí poškození o hloubce menší než 5 mm, oranžová poškození o hloubce 5 – 20 mm a červená poškození o hloubce 20 mm a více.



Obr. 25 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 1 pod úhlem 11°

Z přístroje XL Meter byla naměřená data stažena a vyexportována pomocí programu XL Vision, takto vyexportovaná data byla následně dále zpracovávána pomocí programu Microsoft Excel. U naměřených dat bylo nutné provést korekci tak, aby se jejich hodnoty pohybovaly kolem 0 ve chvíli, kdy je vozidlo v klidu.



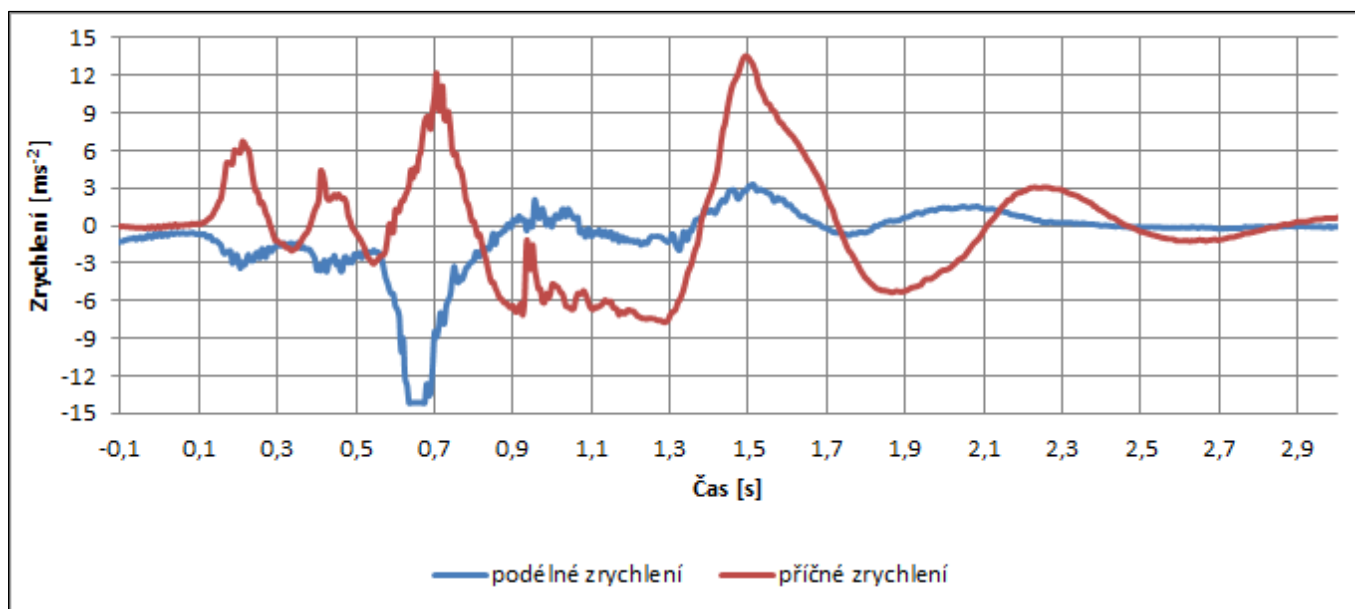
Graf 1 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11°

V grafu jsou zobrazeny křivky příčného a podélného zrychlení a podélné rychlosti vozidla Škoda Felicia.

Ve fázi zrychlování nejprve probíhá prudší zrychlování z nulové rychlosti, které postupně přechází ve velmi mírně stoupající, téměř vodorovnou křivku. To značí dosažení rychlosti požadované pro experiment a snahu řidiče tuto rychlost udržet až do okamžiku střetu.

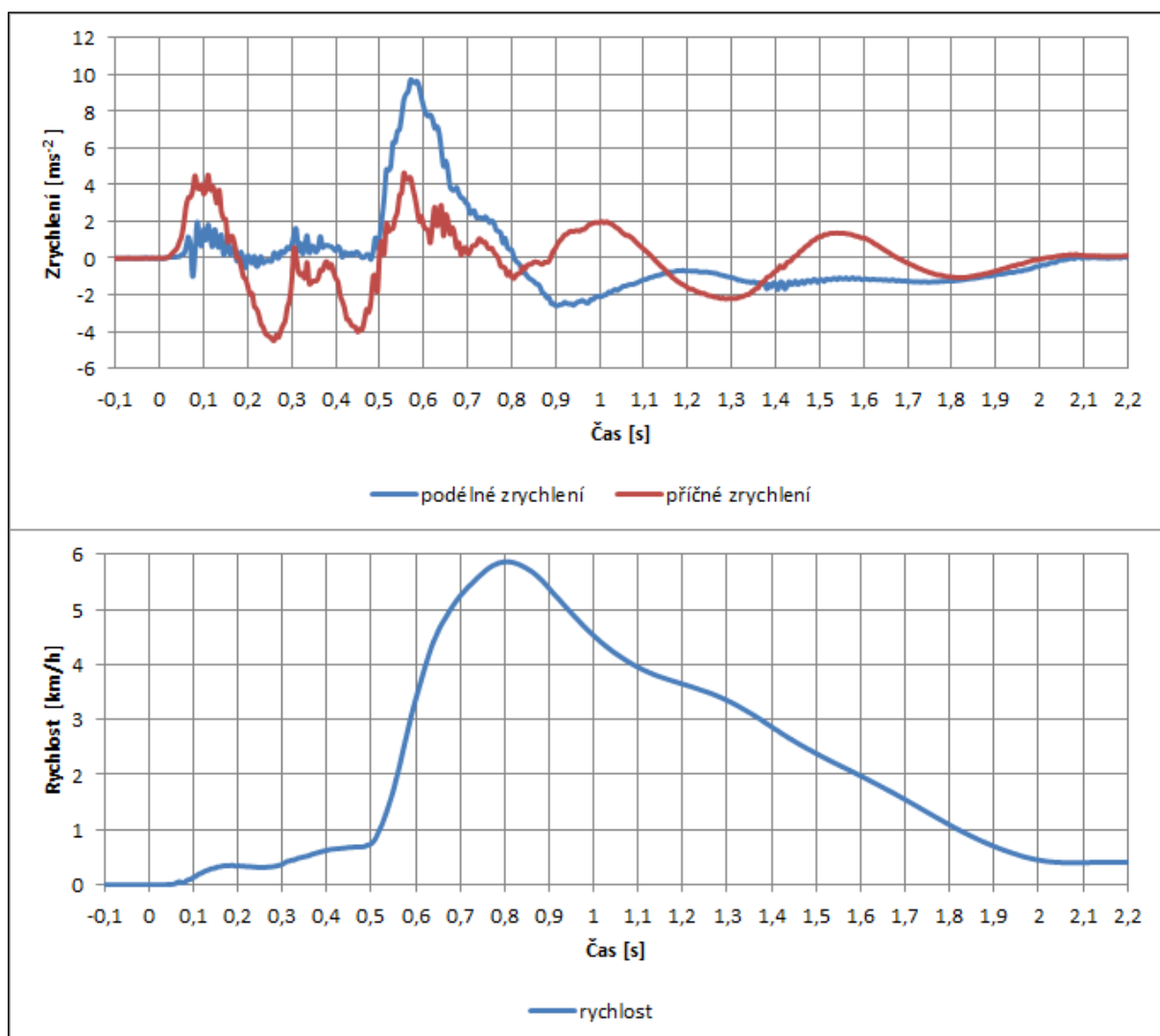
Následně dochází ke střetu, což je charakterizováno viditelným poklesem rychlosti a zároveň značnými výkyvy podélného a zejména příčného zrychlení. Po prvotním poklesu rychlosti je na grafu patrný její mírný nárůst. To je způsobeno výše zmíněným zaklesnutím předních kol vozidel. Na grafu podélného zrychlení je ve chvíli zaklesnutí kol v čase přibližně 0,6 s patrný výrazný výkyv hodnoty podélného zrychlení, v čase přibližně 1,4 s je naopak patrný mírný vzrůst, kdy dochází k uvolnění zaklesnutých kol a jedoucí vozidlo pokračuje v pohybu. Tomu odpovídá zmíněný nárůst rychlosti. Následuje výběhová fáze, kdy se vozidlo pohybuje přibližně konstantní rychlostí a zároveň se klopí kolem podélné osy, což je patrné z grafu příčného zrychlení, který zaujímá přibližný tvar tlumené sinusoidy. V čase 5,16 s začíná vozidlo brzdit až do zastavení.

Na grafu jsou detailně zobrazeny obě složky zrychlení v průběhu střetu. Nejvýraznější výkyvy jsou patrné v čase 0,6 s, kdy dochází k zaklesnutí kol, u příčného zrychlení rovněž v čase 1,5 s, tedy bezprostředně po dopadu levého předního kola jedoucího vozidla zpět na vozovku.



*Graf 2 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11°*

Na následujících grafech jsou zobrazeny průběhy obou složek zrychlení a rychlosti stojícího vozidla Renault Laguna. Po střetu rychlost narůstá a v čase 0,805 s dosahuje své nejvyšší hodnoty 5,87 km/h. Následně rychlost klesá téměř konstantně až k nule.



Graf 3 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11°

V následující tabulce jsou vypsána všechna důležitá data získaná z experimentu.



Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	2,27	2,27	s
Předstřetová rychlost	16,2	0	km/h
Postřetová rychlost	7,7	0,4	km/h
Změna rychlosti	-8,5	0,4	km/h
Maximální podélné zrychlení	3,3	9,72	ms <sup>-2</sup>
Minimální podélné zrychlení	-14,17	-2,59	ms <sup>-2</sup>
Průměrné podélné zrychlení	-1,03	0,05	ms <sup>-2</sup>
Maximální příčné zrychlení	13,56	4,64	ms <sup>-2</sup>
Minimální příčné zrychlení	-7,73	-4,49	ms <sup>-2</sup>
Průměrné příčné zrychlení	-0,05	-0,01	ms <sup>-2</sup>

*Tabulka 4 Důležité hodnoty získané z testu č. 1, úhel 11°*

Pro diferenční rychlost 16,2 km/h byly naměřeny hodnoty průměrného podélného zrychlení -1,03 ms<sup>-2</sup> pro jedoucí vozidlo a 0,05 ms<sup>-2</sup> pro stojící vozidlo. Jedoucí vozidlo bylo zpomalen o 8,5 km/h, stojící bylo zrychleno o 0,4 km/h.

#### **4.3.2 Úhel 11° - pokus č. 2**

Předstřetová rychlost jedoucího vozidla při druhém pokusu pod úhlem 11° byla opět získána výpočtem z dat z XL metru. Její hodnota činila 25,8 km/h.

Rozsah poškození obou vozidel je podobný jako u předchozího pokusu. U jedoucího vozidla je výrazně poškozená jeho pravá přední část, především pravý přední blatník a roh předního nárazníku, poškozeno je též směrové světlo. Nejvýraznější poškození se nachází na přední části blatníku těsně nad nárazníkem ve výšce okolo 50 cm. Z fotodokumentace je jasně patrné, že plechový díl byl v těchto místech značně narušen korozí. Poškozený je též ráfek pravého předního kola, jehož poškození odpovídá poškození ráfku levého předního kola stojícího vozidla.





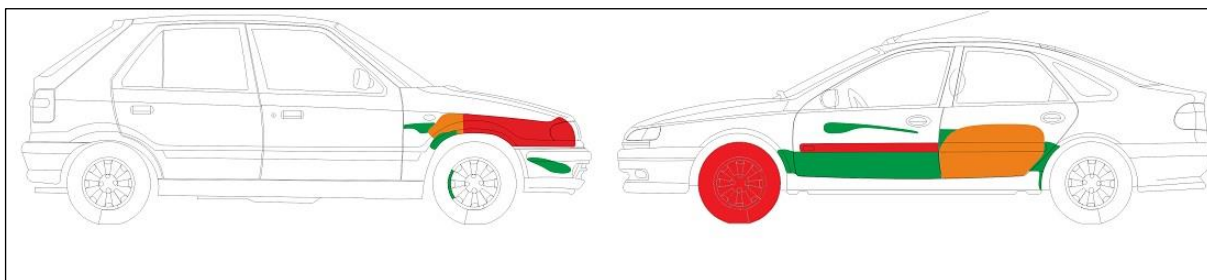
*Obr. 26 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 11°*

Rozsah poškození stojícího vozidla je podobný jako u předchozího pokusu, poškození je však výraznějšího charakteru. Dřecí stopy začínají těsně před podběhem levého zadního kola stojícího vozidla a pokračují po celé délce až k přednímu okraji levých předních dveří. Nejvýraznější stopy se nacházejí ve výšce mezi 30 – 50 cm, což rozměrově odpovídá poškození na přední části jedoucího vozidla. Na zadních dveřích stojícího vozidla se nachází jasně rozpoznatelná promáčklina. Na předních dveřích stojícího vozidla lze pozorovat, že došlo k odlomení plastové lišty – toto poškození patrně koresponduje s nejvýraznějším poškozením jedoucího vozidla v přední oblasti pravého blatníku, jelikož obě poškození se nachází ve stejné výšce. Na předních i zadních dveřích stojícího vozidla lze ve výšce okolo 60 cm zřetelně rozpoznat dřecí stopu, jejíž vznik lze připsat horní hraně podběhu pravého předního kola jedoucího vozidla; v těchto místech lze na jedoucím vozidle pozorovat též ulpělý stříbrný lak. Poškozen je též ráfek levého předního kola stojícího vozidla; jak již bylo zmíněno, toto poškození koresponduje s poškozením ráfku pravého předního kola jedoucího vozidla. Poškozena je rovněž pneumatika. Na blatníku a nárazníku stojícího vozidla se žádné rozpoznatelné poškození nevyskytuje.



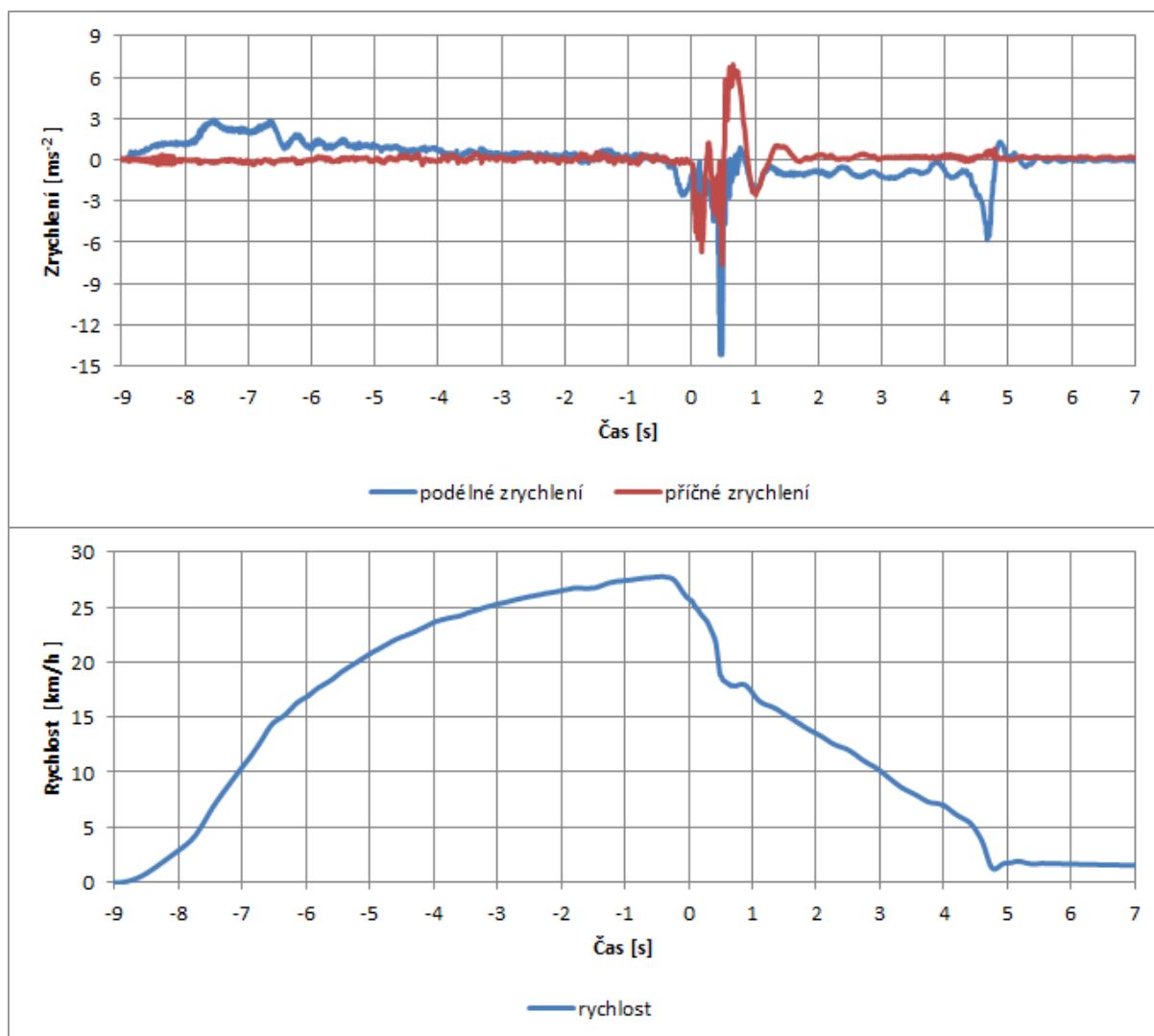
*Obr. 27 Poškození stojícího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 11°*

Schématické znázornění poškození je zobrazeno na obrázku níže.



*Obr. 28 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 2 pod úhlem 11°*

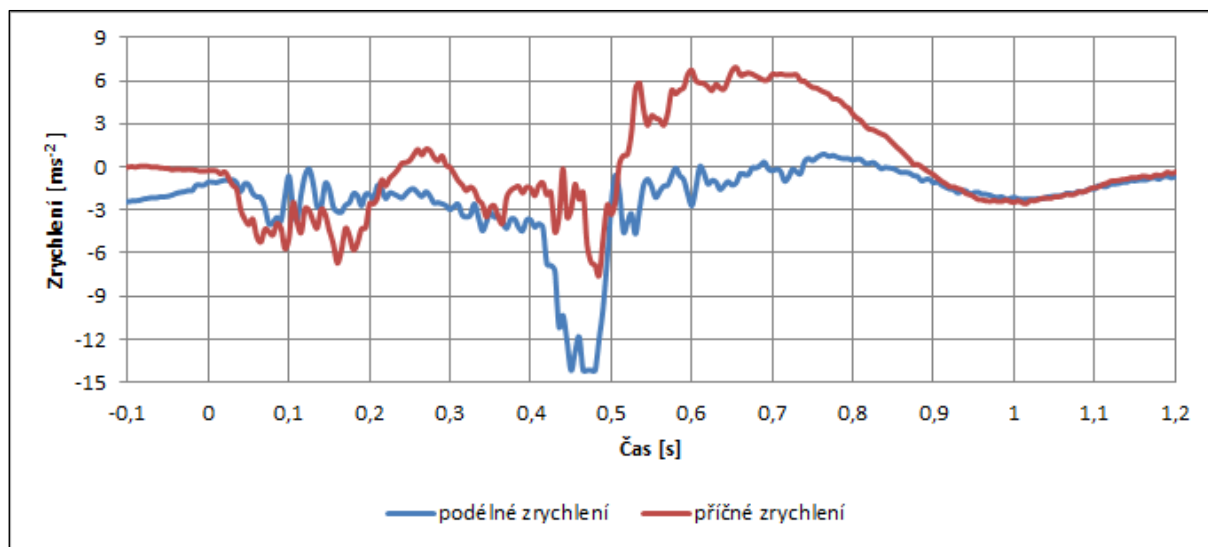
Následující graf zobrazuje průběhy obou složek zrychlení a rychlosti jedoucího vozidla.



Graf 4 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem  $11^\circ$

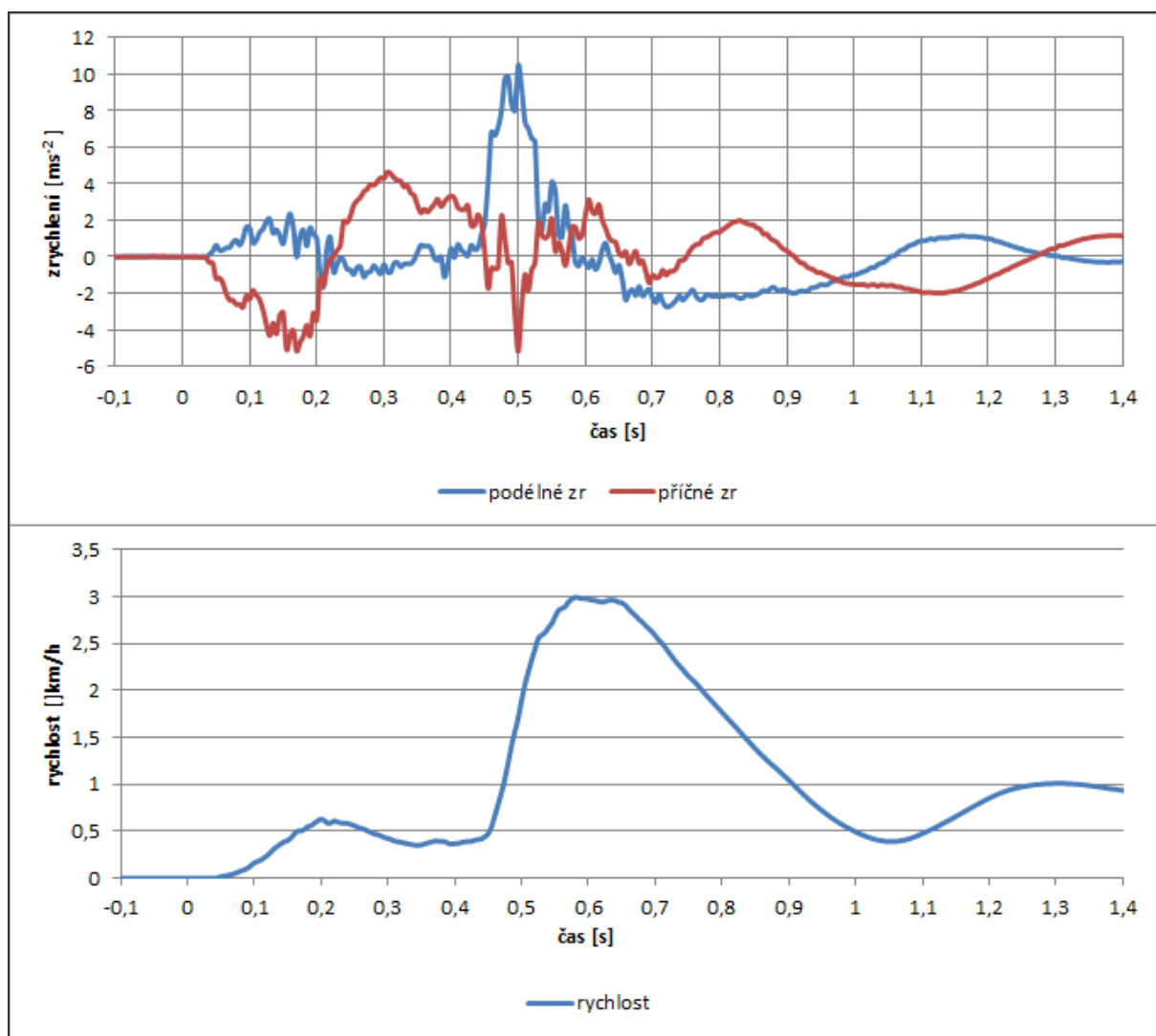
Stejně jako u předchozího pokusu je zrychlování nejprve prudší, posléze mírnější, těsně před střetem dochází k mírnému poklesu rychlosti vozidla, což je způsobeno snahou řidiče udržet rychlost na hodnotě požadované pro experiment.

Následně dochází ke střetu, což je charakterizováno prudším poklesem rychlosti a značnými výkyvy obou složek zrychlení. K nejvyššímu výkyvu hodnoty podélného zrychlení dochází patrně v okamžiku kolize ráfků předních kol obou vozidel. Bezprostředně po střetu dochází v čase 0,9 s k brzdění vozidla, které má téměř konstantní průběh, což lze pozorovat jak na grafu zrychlení, tak zejména na grafu rychlosti, kde rychlost pozvolna téměř konstantně klesá až do zastavení vozidla v čase 4,8 s.



*Graf 5 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem  $11^\circ$*

Následující graf vykresluje průběh rychlosti a obou složek zrychlení stojícího vozidla. Nejvyšší hodnoty 3 km/h dosahuje v čase 0,58 s, poté hodnota klesá. Následné výkyvy v křivce rychlosti mohou být způsobeny kmitáním vozidla dopředu a dozadu, případně vychýlením měřicího přístroje z rovnovážné polohy.



*Graf 6 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 2 pod úhlem 11°*

V tabulce jsou vynesena důležitá data získaná z měření.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,84	0,84	s
Předstřetová rychlost	25,8	0	km/h
Postřetová rychlost	18	1,5	km/h
Změna rychlosti	-7,8	1,5	km/h
Maximální podélné zrychlení	2,92	10,49	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-14,17	-2,73	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-2,56	0,32	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	6,93	4,64	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-7,55	-5,19	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	0,42	0,38	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 5 Důležité hodnoty získané z testu č. 2, úhel 11°*

Na hodnotách maximálního a minimálního zrychlení jedoucího vozidla je patrné, že tyto hodnoty jsou menší, respektive stejné, jako u testu číslo 1. To lze vysvětlit tím, že při testu číslo 1 došlo k výraznému zahákování předních kol stojícího a jedoucího vozidla, a tudíž i ke značným výkyvům hodnot zrychlení.

### 4.3.3 Úhel 11° - pokus č. 3

Hodnota předstřetové rychlosti jedoucího vozidla, získaná z dat naměřených XL metrem, činí 29,1 km/h.

Rozměrově je rozsah poškození obdobný jako u předchozích dvou pokusů, poškození jedoucího vozidla je soustředěno zejména v místech levého předního blatníku, levého rohu předního nárazníku a nad podběhem levého předního kola. Ve srovnání s předchozím testem je však míra poškození těchto dílů, zejména blatníku, méně výrazná. To lze zdůvodnit tím, že vozidlo z předchozího testu bylo v daných místech značně postiženo korozí, zatímco u vozidla z pokusu č. 3 nebyla antikorozní ochrana v těchto místech porušena. Poškození přední části jedoucího vozidla se, podobně jako u předchozích pokusů, nachází ve výšce mezi 50 – 70 cm od země. Vedle deformací plechových dílů je možné pozorovat také přímé dřecí stopy, které se nalézají zejména těsně nad podběhem levého předního kola. Dobře patrná dřecí stopa se také nachází na levých předních dveřích, kde se táhne po celé jejich délce ve výšce přibližně 50 cm a dále je patrná také na přední části zadních dveří. Z fotodokumentace je také patrné, že došlo k narušení lícování dílů karoserie, jelikož mezi levými předními dveřmi a karoserií se i po zavření těchto dveří nachází značná mezera, která se zde před realizací pokusu nenacházela.





*Obr. 29 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11°*

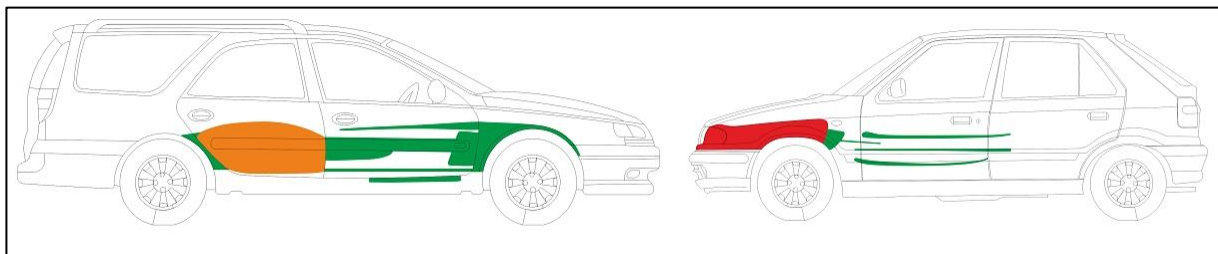
Nejvýraznějším prvkem poškození, který se nachází na stojícím vozidle, jsou četné dřecí stopy. Ty začínají těsně před pravými zadními dveřmi vozidla a pokračují po celé jeho délce až k podběhu pravého předního kola ve výšce mezi 30 – 60 cm. Na hraně podběhu pravého



*Obr. 30 Poškození stojícího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11°*



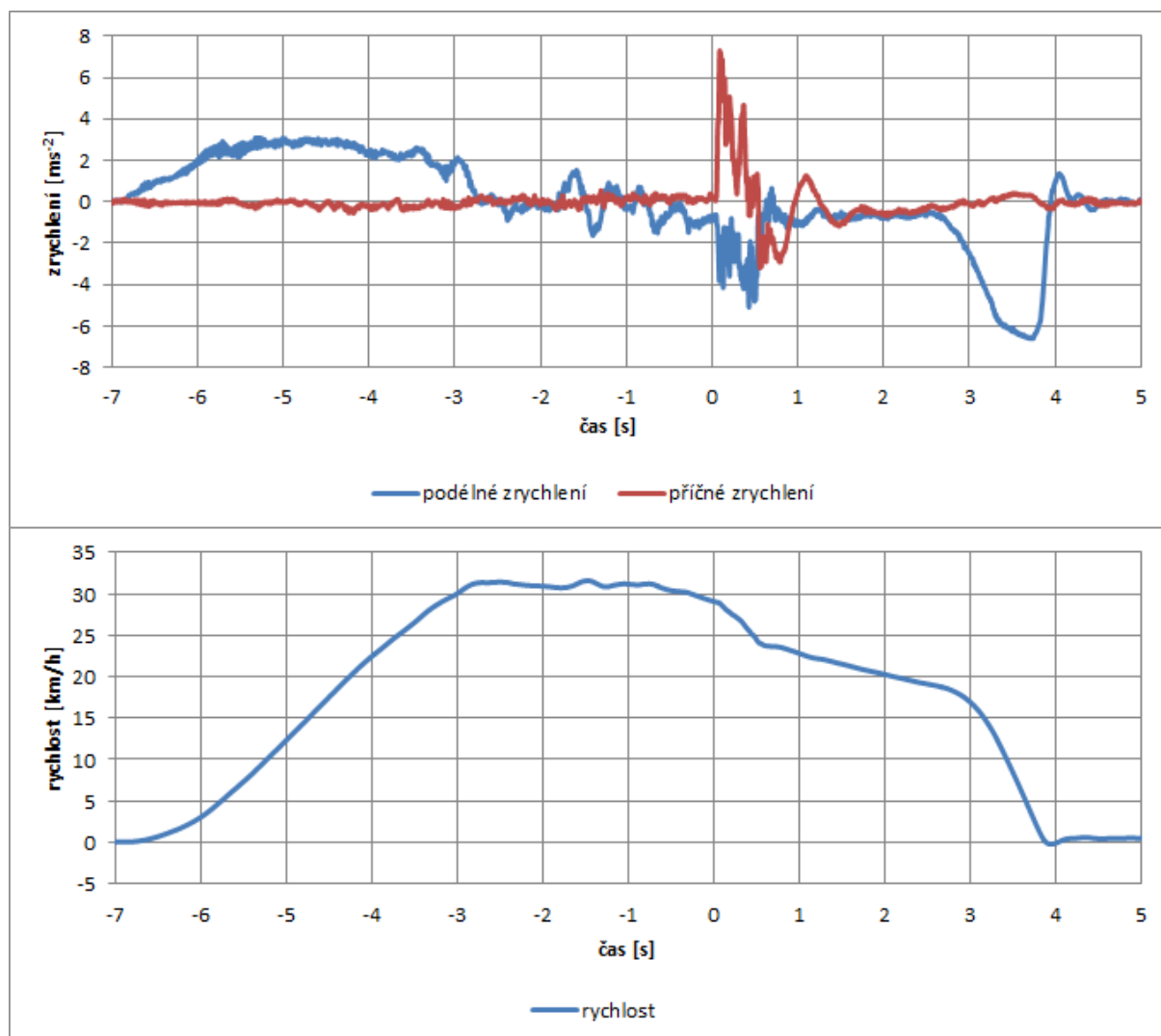
předního kola jsou dobře patrné ulpělé částice laku z jedoucího vozidla. U stojícího vozidla došlo také ke zlomení pravého zpětného zrcátka, což koresponduje se skutečností, že na jedoucím vozidle došlo při pokusu ke sklopení levého zpětného zrcátka. Hloubka plastické deformace dílů karoserie není v tomto případě příliš viditelná, pouze u pravých zadních dveří lze rozeznat jejich promáčknutí.



*Obr. 31 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 3 pod úhlem 11°*

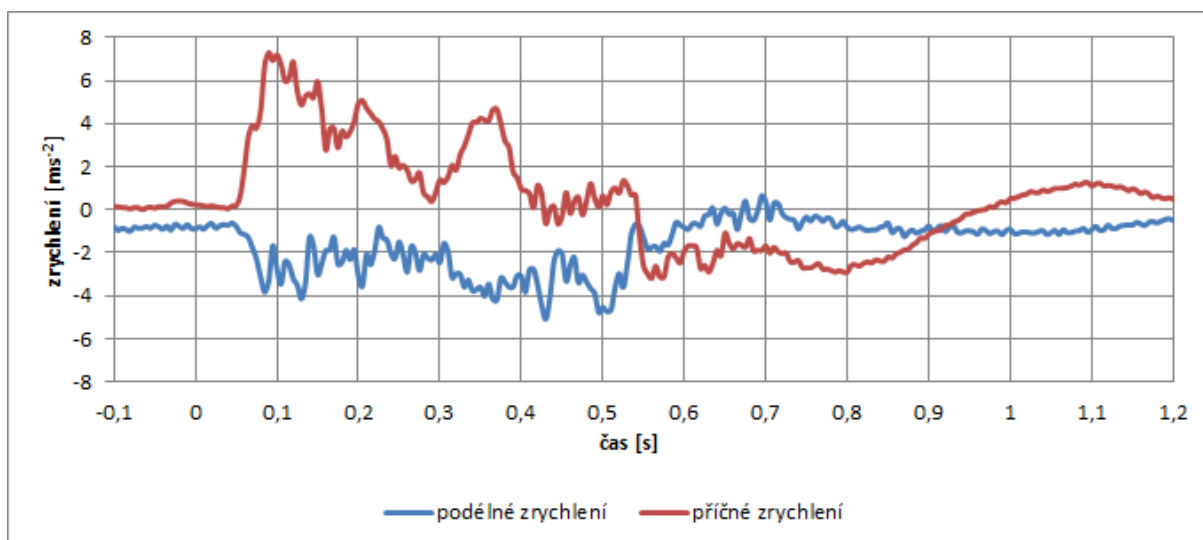
Na obrázku výše je graficky znázorněno poškození obou vozidel.

Na následujících grafech jsou zobrazeny průběhy obou složek zrychlení a průběh rychlosti jedoucího vozidla během experimentu.



*Graf 7 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem  $11^\circ$*

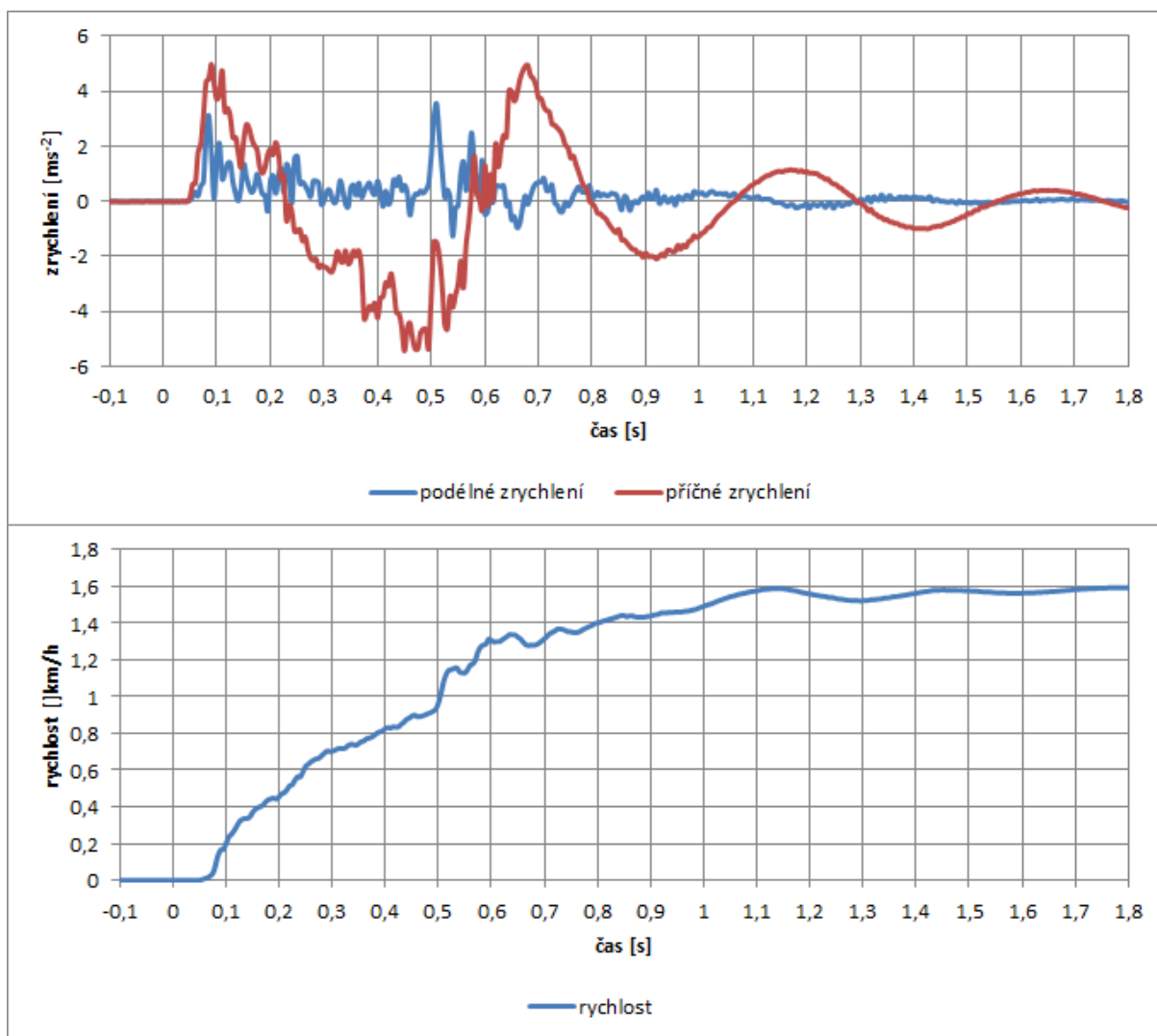
Z grafu zrychlení je patrný velmi pozvolný rozjezd vozidla, což se odráží v grafu rychlosti téměř rovnoměrným stoupáním křivky rychlosti. Zrychlování probíhá po dobu přibližně 4 sekund, poté následuje fáze, kdy se vozidlo pohybuje téměř konstantní rychlostí až do okamžiku střetu. Na grafu podélného zrychlení jsou patrné mírné výkyvy křivky, což je dáno snahou řidiče udržet před střetem danou rychlost. Následuje fáze střetu, která je charakterizována výraznými výkyvy podélného a zejména příčného zrychlení. Po střetu nastává výběhová fáze, kdy se vozidlo dále pohybuje s téměř konstantním zpomalením, což je dobře patrné zejména na grafu rychlosti. Přibližně v čase 2,7 s začíná řidič vozidla intenzivněji brzdit až do zastavení vozidla, které nastává v čase přibližně 3,91 s.



*Graf 8 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem  $11^\circ$*

Z detailu průběhu obou složek zrychlení je patrné, že největší výkyv hodnoty příčného zrychlení nastal v čase 0,09 s, kdy hodnota příčného zrychlení činila  $7,3 \text{ ms}^{-2}$ . Výkyvy podélného zrychlení naopak nejsou tolik výrazné, nejvýraznější špička nastává v čase 0,43 s, kdy podélné zrychlení dosahuje hodnoty  $5,1 \text{ ms}^{-2}$ .

V následujícím grafu jsou zobrazeny průběhy obou složek zrychlení a průběh rychlosti stojícího vozidla.



*Graf 9 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 3 pod úhlem 11°*

Graf příčné složky zrychlení stojícího vozidla nabývá přibližného tvaru tlumené sinusoidy, což může být zapříčiněno naklápěním vozidla kolem podélné osy. Hodnoty příčného zrychlení jsou mírně vyšší, než v předchozích dvou pokusech, u podélného zrychlení je tomu naopak. Důvodem může být skutečnost, že při pokusu č. 3 nedošlo ani k úplnému zahákování předních kol obou vozidel, jak tomu bylo v případě pokusu č. 1, ani ke kolizi a následnému poškození ráfků předních kol jako v pokusu č. 2. Chování křivky rychlosti je patrně zapříčiněno tím, že došlo k vychýlení měřicího přístroje z rovnovážné polohy.

V následující tabulce jsou vynesena podstatná data získaná z experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,73	0,73	s
Předstřetová rychlost	29,1	0	km/h
Postřetová rychlost	23,6	1,4	km/h
Změna rychlosti	-5,5	1,4	km/h
Maximální podélné zrychlení	0,65	3,54	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-5,09	-1,26	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-2,06	0,52	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	7,3	4,97	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-3,19	-5,43	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	1,26	-0,2	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 6 Důležité hodnoty získané z testu č. 3, úhel 11°*

#### 4.3.4 Úhel 11° - pokus č. 4

Hodnota předstřetové rychlosti jedoucího vozidla ve čtvrtém pokusu činí 42,3 km/h.

Oblast poškození jedoucího vozidla je srovnatelná s předchozími pokusy. V tomto případě je veškeré poškození nalézající se na vozidle soustředěno zejména na pravém předním blatníku vozidla, zvláště v místech nad podběhem předního kola. Míra poškození je vyšší než v předchozích pokusech, na dílu je zřetelně vidět výrazná plastická deformace vzniklá v důsledku střetu. Blatník vozidla je deformován v rozsahu od 50 cm až ke hraně kapoty motorového prostoru, tedy nějakých 80 cm. Poškozeno je rovněž pravé přední směrové světlo, došlo též k vylomení lišty nacházející se pod pravou přední svítilnou. Na blatníku je ve výšce 60 cm patrná výrazná krátká přímá dřecí stopa, která částečně zasahuje na přední okraj pravých předních dveří. Tato stopa mohla být patrně způsobena oranžovým signalizačním světlem, které se nachází na plastové liště na boku stojícího vozidla. Dřecí stopa na jedoucím vozidle se nachází mírně výše,

než zmíněná lišta, což může být způsobeno příčným naklopením vozidla. Tvarově však stopa odpovídá zmíněnému prvku a na stojícím vozidle v místech zmíněného prvku lze pozorovat ulpělé částčky laku z jedoucího vozidla.

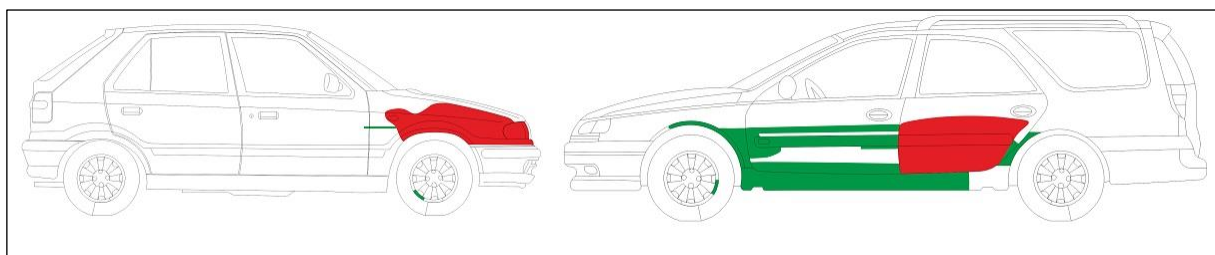


*Obr. 32 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11°*

Na stojícím vozidle je většina pozorovatelného poškození tvořena dlouhými přímými dřecími stopami. Ty začínají těsně před zadní hranou levých zadních dveří a pokračují po celé délce vozidla až k podběhu předního kola. Výškové rozmezí těchto stop je 30 – 70 cm. Na zadních dveřích vozidla se utvořila dobře patrná poměrně hluboká kapsovitá plastická deformace. Na plastové liště na předních dveřích lze pozorovat poškozené signalizační světlo, v těchto místech se zároveň nachází značné množství ulpělého laku z jedoucího vozidla. Toto poškození patrně koresponduje s výraznou krátkou rovnou dřecí stopou na blatníku jedoucího vozidla, jak již bylo zmíněno výše. Na prahu vozidla lze pozorovat šikmé stopy způsobené patrně otěrem pneumatiky jedoucího vozidla.



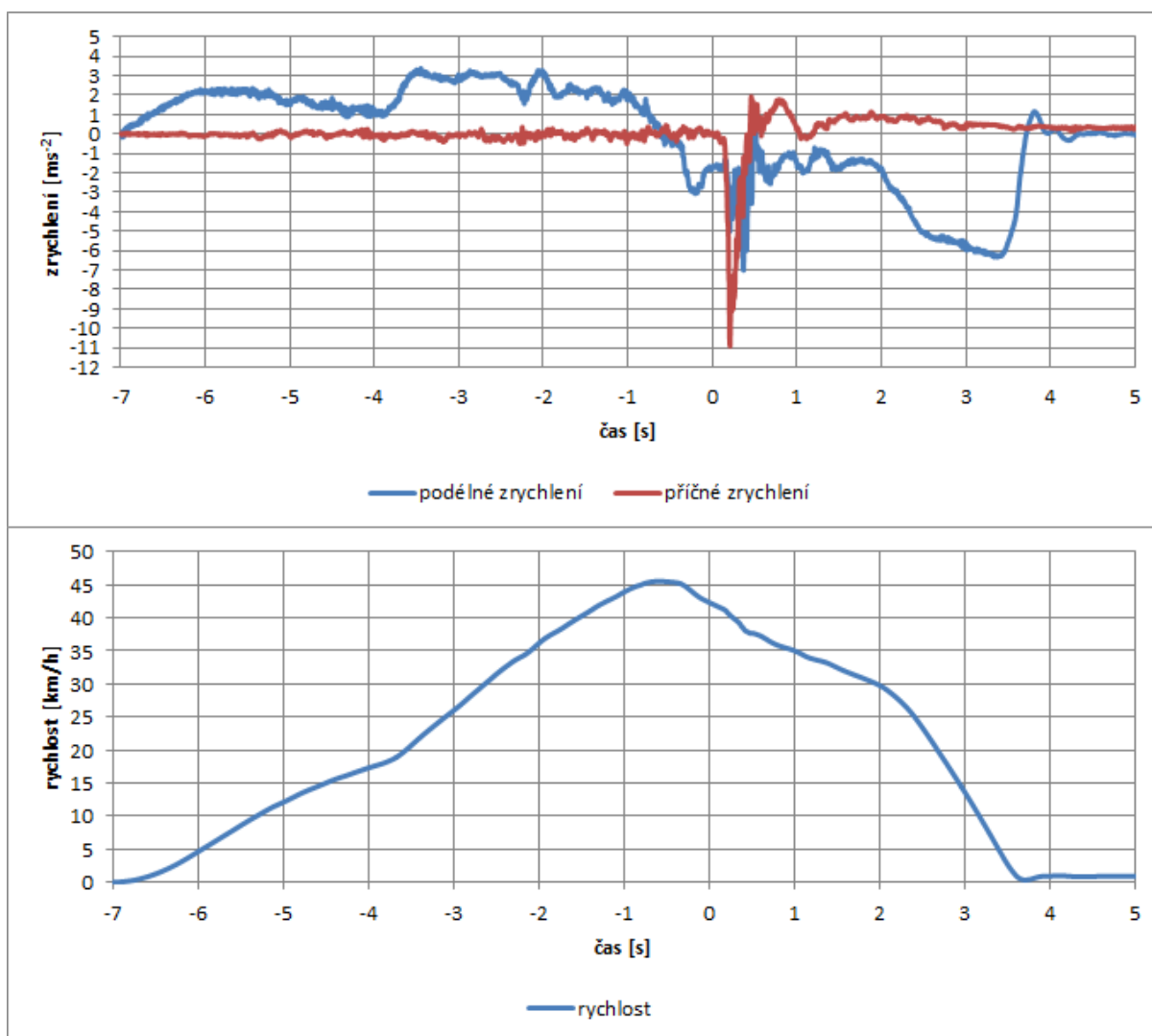
*Obr. 33 Poškození stojícího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 11°*



*Obr. 34 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 4 pod úhlem 11°*



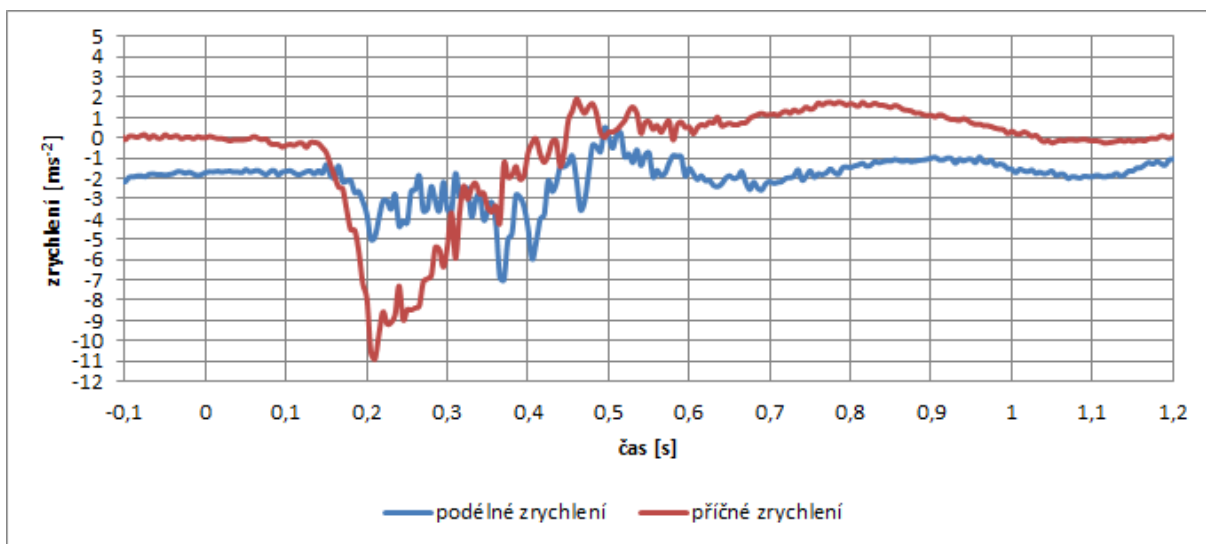
Následující graf zobrazuje průběh rychlosti a složek zrychlení jedoucího vozidla.



Graf 10 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem  $11^\circ$

Průběh zrychlování před střetem je srovnatelný s předchozími pokusy, také v tomto případě dochází k pozvolnému zrychlování. Fáze udržování konstantní rychlosti je v tomto případě kratší než u předchozího pokusu. Stejně jako v předchozích případech je fáze střetu charakterizována významnými výkyvy obou složek zrychlení. V tomto případě je fáze střetu viditelně kratší než u předchozích pokusů, důvodem je patrně vyšší nárazová rychlost. Po střetu vozidlo přechází do výběhové fáze a v čase přibližně 2,03 s začíná řidič brzdit až do zastavení vozidla.



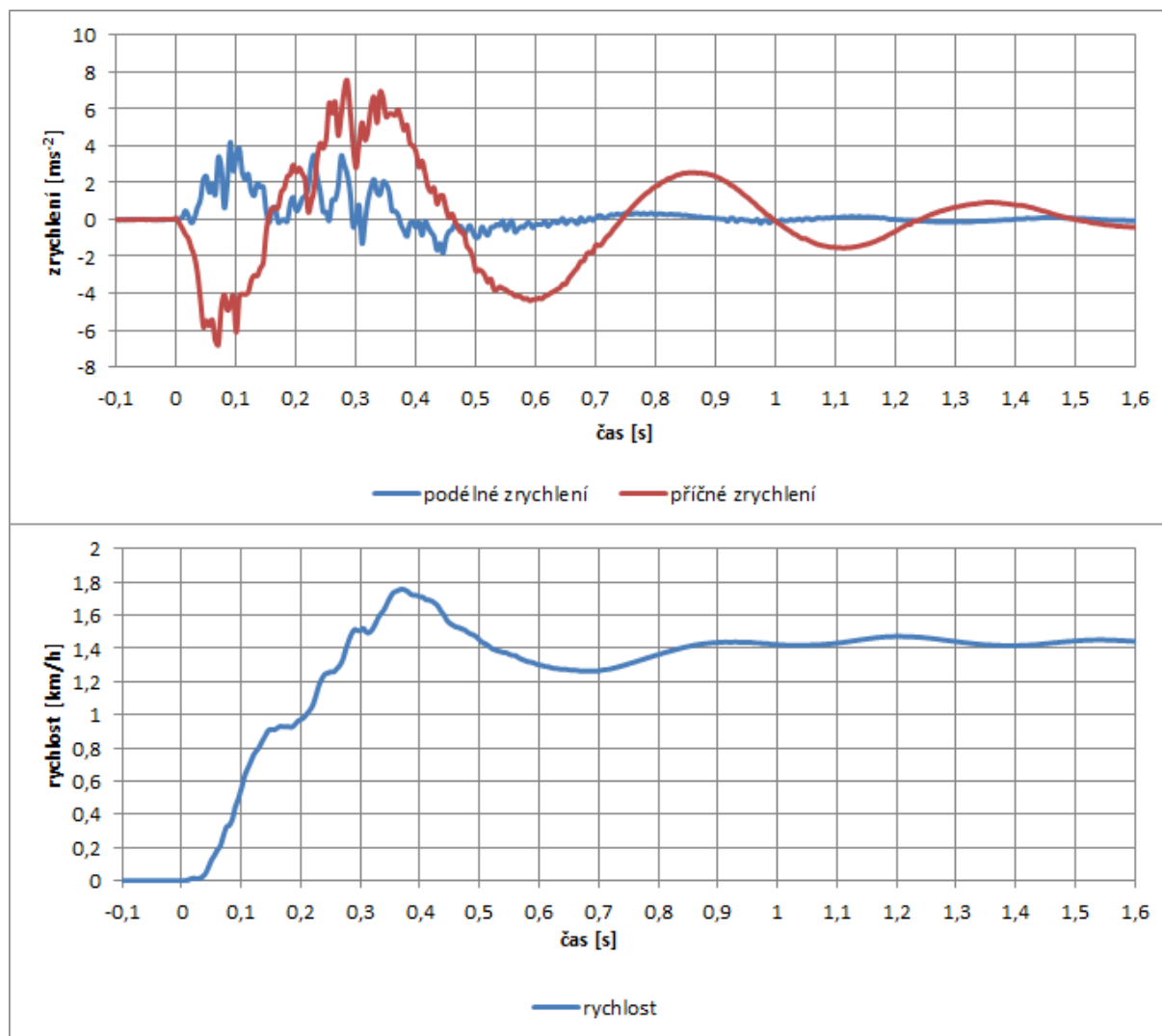


*Graf 11 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 11°*

Nejvýraznějšího výkyvu dosahuje příčná složka zrychlení v čase 0,21 s, výkyvy podélné složky zrychlení jsou opět viditelně nižší, nejvýraznější je patrný v čase 0,37 s.

Následující graf zobrazuje průběhy zrychlení a rychlosti stojícího vozidla.

Výkyvy hodnot obou složek zrychlení jsou patrně vyšší, než u předchozího pokusu, což je vzhledem k vyšší nárazové rychlosti očekávatelné. Stejně jako u pokusu č. 3, i zde nabývá graf příčného zrychlení přibližného tvaru tlumené sinusoidy, což značí příčné naklápění vozidla. Chování křivky rychlosti mohlo být způsobeno vychýlením měřicího přístroje.



Graf 12 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem  $11^\circ$

V tabulce jsou zpracovány všechny podstatné hodnoty získané při experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,4	0,4	s
Předstřetová rychlost	42,3	0	km/h
Postřetová rychlost	38,4	1,7	km/h

Změna rychlosti	-3,9	1,7	km/h
Maximální podélné zrychlení	-1,31	4,19	ms <sup>-2</sup>
Minimální podélné zrychlení	-7,01	-1,3	ms <sup>-2</sup>
Průměrné podélné zrychlení	-2,7	1,17	ms <sup>-2</sup>
Maximální příčné zrychlení	0,08	7,54	ms <sup>-2</sup>
Minimální příčné zrychlení	-10,91	-6,8	ms <sup>-2</sup>
Průměrné příčné zrychlení	-3,23	1,17	ms <sup>-2</sup>

*Tabulka 7 Důležité hodnoty získané z testu č. 4, úhel 11°*

#### **4.3.5 Úhel 14° - pokus č. 1**

Stejně jako u nárazů pod úhlem 11°, i u experimentů pod úhlem 14° byla data naměřena pomocí XL metru a dále zpracována. Předstřetová rychlost jedoucího vozidla při prvním pokusu pod úhlem 14° činila 13,7 km/h.

Ačkoliv nárazová rychlost je srovnatelná s rychlostí při prvním pokusu pod úhlem 11°, poškození obou vozidel je výraznější, což je patrně zapříčiněno větší velikostí nárazového úhlu. U jedoucího vozidla je poškození koncentrováno především v oblasti levého předního blatníku, kde lze pozorovat výrazné plastické deformace zejména nad horní hranou předního nárazníku a okolo hrany podběhu předního kola. Při nárazu došlo rovněž k vylomení levého rohu předního nárazníku. Výškový rozsah poškození je v těchto místech 50 – 80 cm. Dále je možné pozorovat dřecí stopu jdoucí po celé délce levých předních dveří vozidla, méně výrazná dřecí stopa se nachází na plastové liště umístěné na boku vozidla ve výšce 50 cm a probíhá po celé její délce. Dřecí stopy je možné rovněž pozorovat na plastové liště umístěné nad podběhem levého zadního kola.

Obr. 35 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 14°

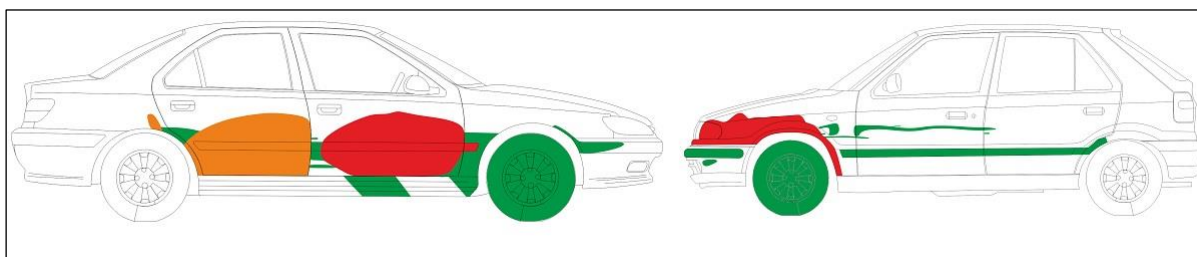


Nejnápadnějším prvkem poškození na stojícím vozidle jsou plastické deformace kapsovitého tvaru, které se nacházejí na předních i zadních dveřích na pravé straně vozidla, zdeformovány jsou rovněž plastové lišty na dveřích vozidla. Spolu s těmito deformacemi se v těchto místech nachází velké množství dřecích stop.



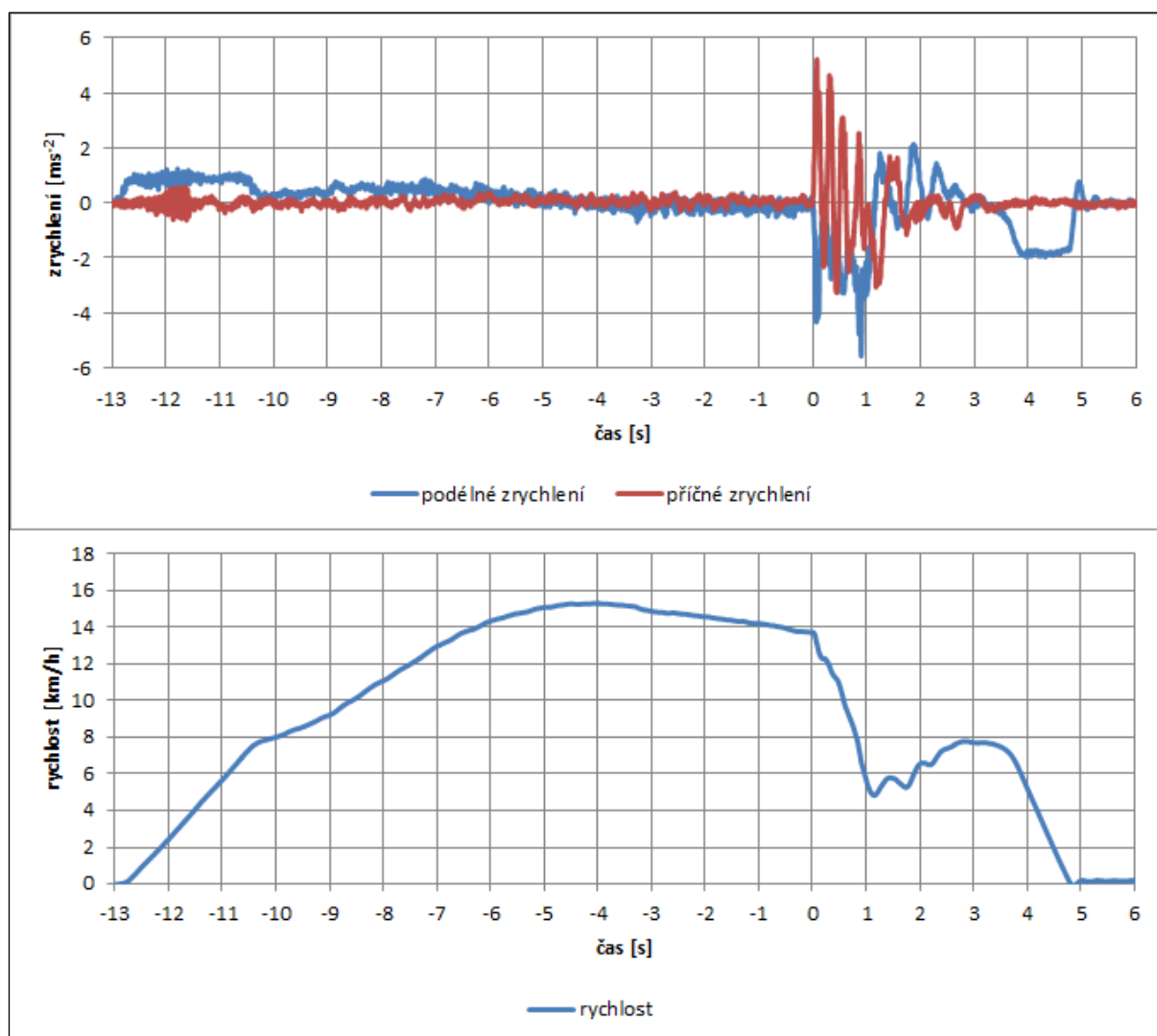
*Obr. 36 Poškození stojícího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 14°*

Ve výšce kolem 40 cm je možné pozorovat černé stopy po otěru pneumatik jedoucího vozidla, podobné stopy stejného původu lze vidět také na disku předního kola stojícího vozidla. Plastická deformace menšího rozměru se nachází nad podběhem zadního kola těsně před hranou zadních dveří, tedy v místě, kam byl řidičem jedoucího vozidla směřován náraz. Při kolizi došlo rovněž ke vzniku viditelné mezery mezi předním blatníkem a horní hranou předního nárazníku.



Obr. 37 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 1 pod úhlem 14°

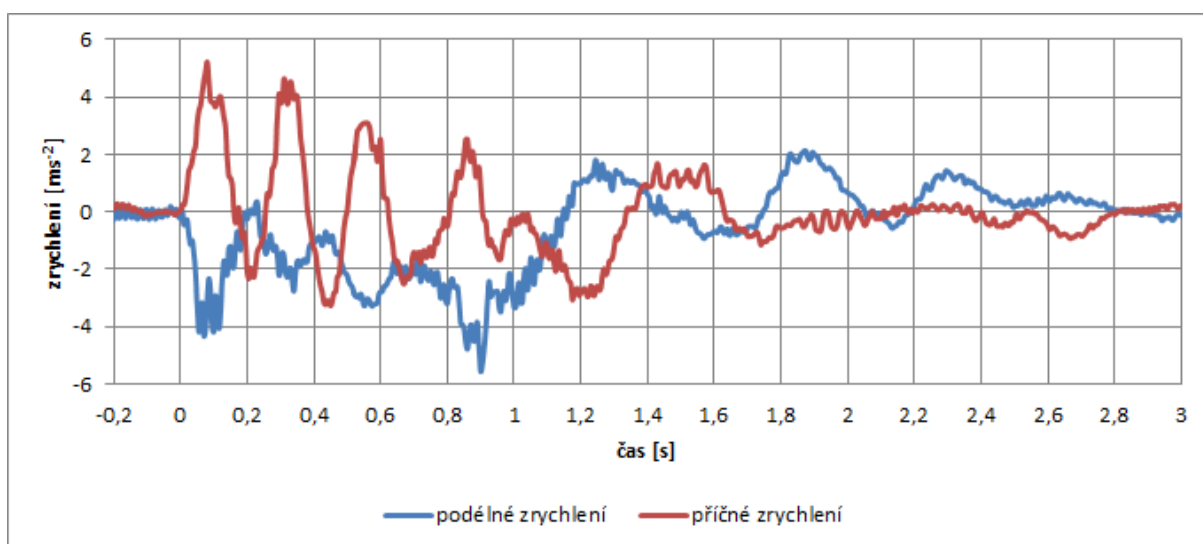
Průběhy rychlosti a obou složek zrychlení pro jedoucí vozidlo jsou zobrazeny na následujících grafech.



Graf 13 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 14°

Na grafu je patrné, že po počátečním přidání rychlosti vozidlo zrychlovalo téměř konstantně, v čase přibližně 6 sekund před střetem zrychlování ustává a následuje fáze, kdy se

řidič snaží udržet rychlost vozidla na konstantní hodnotě požadované pro provedení experimentu, tedy okolo 15 km/h. Tato fáze je časově poměrně dlouhá, podobně jako u prvního pokusu pod úhlem 11°, což je zapříčiněno nízkou požadovanou nárazovou rychlostí a délkou rozjezdové dráhy. V čase 0 dochází ke střetu, což je charakterizováno jak prudkým poklesem rychlosti, tak výraznými výkyvy příčného zrychlení, které lze spojit se vznikem kapsovitých deformací na boku stojícího vozidla. V čase 0,9 s pak dochází k největšímu výkyvu podélné složky zrychlení, což lze spojit se skutečností, že došlo k částečnému velice mírnému zaklesnutí předních kol vozidel. Následně rychlost mírně vzrůstá, což je způsobeno tím, že řidič během střetu přidal plyn, aby se jedoucí vozidlo úplně nezastavilo a nezůstalo zaklíněné do vozidla stojícího. Poté následuje výběhová fáze, kdy se vozidlo na krátký okamžik pohybuje téměř konstantní rychlostí, v čase 3,4 s pak začíná vozidlo brzdit do zastavení.

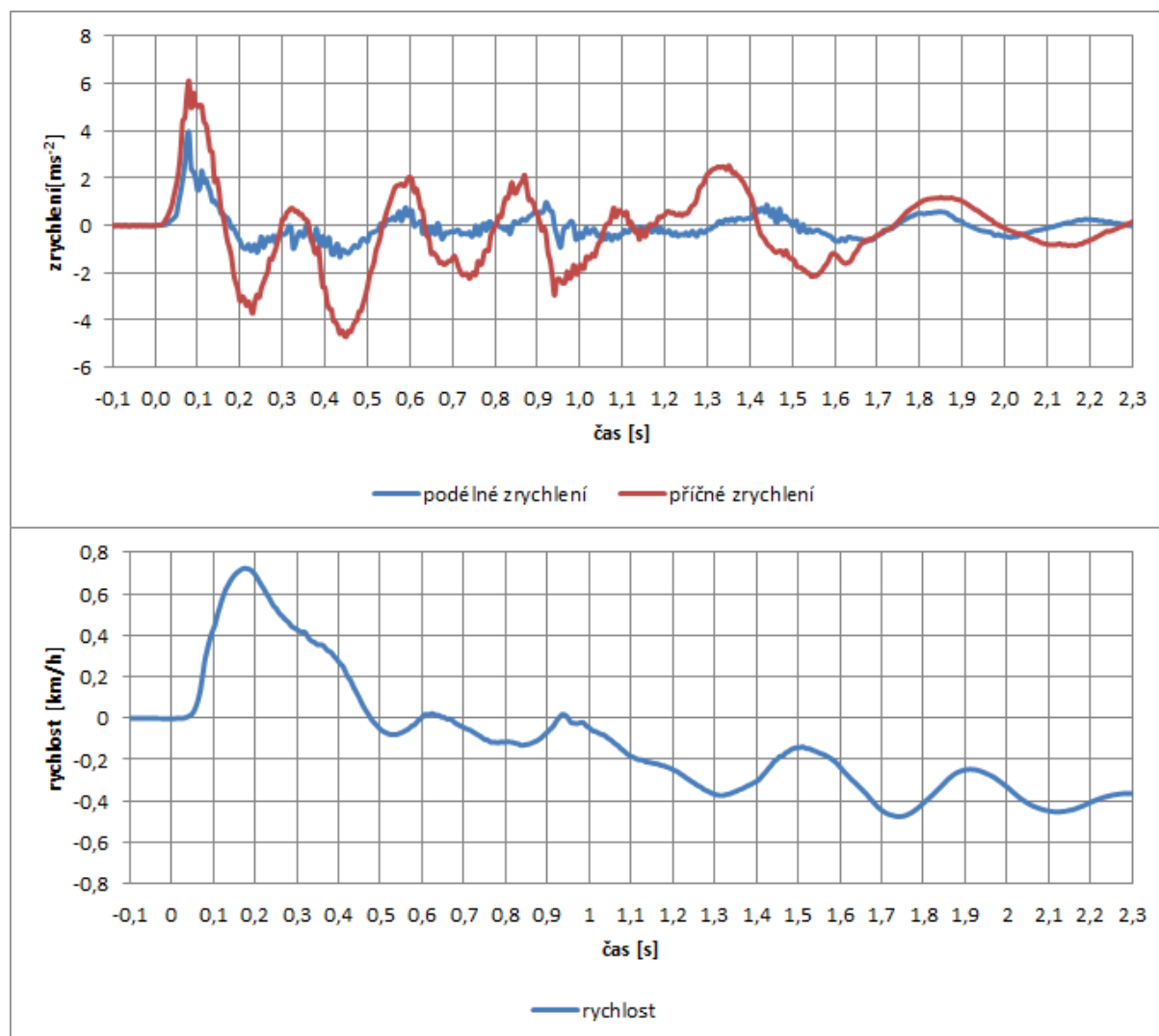


*Graf 14 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 14°*

Detailní pohled na složky zrychlení dobře ukazuje zmíněné výkyvy příčné složky. Největší špičky bylo dosaženo v čase 0,08 s, kdy bylo dosaženo hodnoty  $5,21 \text{ ms}^{-2}$ . Nejvýraznější výkyv podélné složky byl zaznamenán v čase 0,9 s, hodnota činila  $5,54 \text{ ms}^{-2}$ .

Z grafu složek zrychlení stojícího vozidla je patrně, že k nejvýraznějším výkyvům došlo bezprostředně po střetu. V čase 0,08 s dosahuje hodnota příčného zrychlení svého maxima, které činí  $6,11 \text{ ms}^{-2}$ . Podélné zrychlení dosahuje své maximální hodnoty  $3,93 \text{ ms}^{-2}$  rovněž v čase 0,08 s. Hodnoty příčného zrychlení jsou mírně vyšší, než v případě prvního testu pod úhlem 11°, hodnoty podélného zrychlení jsou naopak nižší, což je dáno skutečností, že u tohoto testu nedošlo k výraznému zahákování kol vozidel jako u testu č. 1 pod úhlem 11°. Nejvyšší hodnota rychlosti, na kterou bylo stojící vozidlo urychleno, činí 0,72 km/h v čase 0,17 s. Následné chování křivky rychlosti je patrně způsobeno kmitáním stojícího vozidla, případně může být způsobeno

vychýlením měřicího přístroje; vozidlo bylo zabrzděno a rozhodně nelze říci, že by se nějakým způsobem pohybovalo se zápornou rychlostí.



Graf 15 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 1 pod úhlem  $14^\circ$



V následující tabulce jsou vynesena všechna podstatná data získaná při experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	2,2	2,2	s
Předstřetová rychlost	13,7	0	km/h
Postřetová rychlost	6,5	-	km/h
Změna rychlosti	-7,2	-	km/h
Maximální podélné zrychlení	2,13	3,93	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-5,54	-1,34	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-0,91	-0,05	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	5,21	6,11	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-3,27	-4,7	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	0,01	-0,23	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 8 Důležité hodnoty získané z testu č. 1, úhel 14°*

#### 4.3.6 Úhel 14° - pokus č. 2

Při druhém pokusu pod úhlem 14° dosáhla předstřetová rychlost jedoucího vozidla 29,6 km/h.

Poškození jedoucího vozidla je srovnatelné s poškozením u většiny předchozích pokusů. Nejvýrazněji poškozen je pravý přední blatník vozidla, a to zejména v přední části přímo nad pravým rohem předního nárazníku, kde je možné pozorovat výraznou plastickou deformaci. Výškový rozsah poškození je v těchto místech přibližně 50 – 80 cm. Na plastové liště na předním nárazníku lze pozorovat dřecí stopy, ty se rovněž nalézají na plastové liště nad podběhem předního kola vozidla. Méně výrazné dřecí stopa se nachází na plastové liště na boku vozidla, a to v místě těsně za přední hranou předních dveří ve výšce cca 50 cm. Odřenyiny lze vidět také na pravém zpětném zrcátku vozidla, které při střetu přišlo do kontaktu s levým zpětným zrcátkem stojícího vozidla. Tato skutečnost je dobře vidět i na pořízených videozáznamech. Rovněž došlo k poškození pravého předního směrového světla jedoucího vozidla a k vylomení lišty pod pravým předním světlometem. Při pokusu rovněž došlo ke kolizi pravého předního kola jedoucího vozidla s levým předním kolem vozidla stojícího; na pneumatice na pravém předním kole jedoucího vozidla se nachází mírné povrchové poškození, vlivem zmíněné kolize kol také došlo k odpadnutí ozdobného plastového krytu kola.

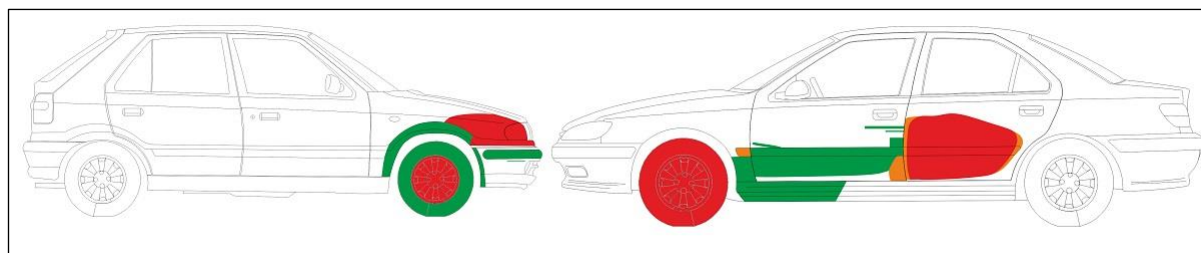


Obr. 38 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 14°

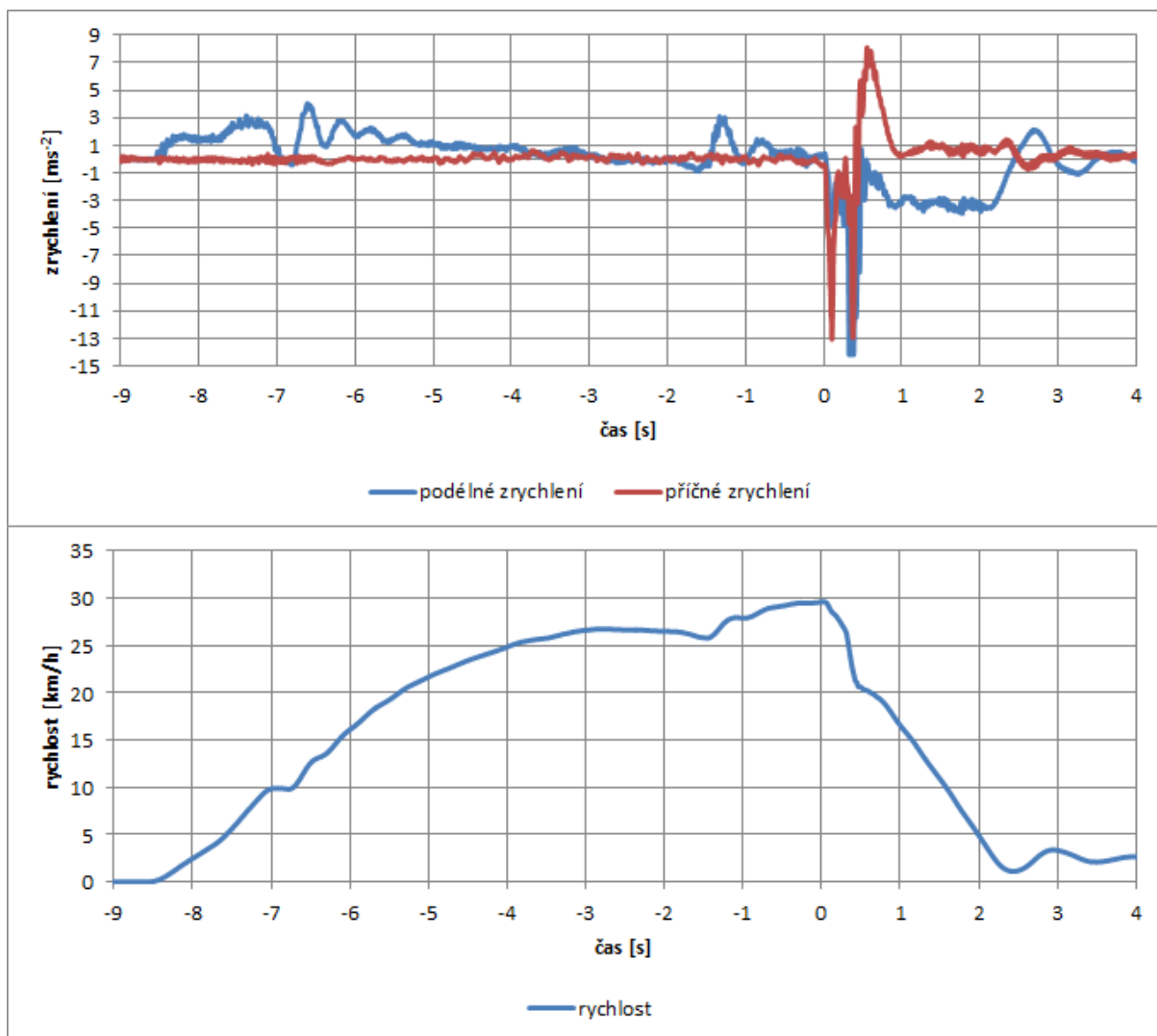
Poškození stojícího vozidla začíná v místech kolem zadní hrany zadních levých dveří a probíhá po celém boku až k podběhu předního kola, přední kolo je taktéž poškozeno. Na zadních dveřích je možné vidět charakteristickou plastickou deformaci kapsovitého tvaru. Na předních dveřích se žádná podobná deformace nenachází, což je patrně způsobeno tím, že vozidla se od sebe po prvotním kontaktu vlivem pro pružení mírně oddálila. Dále lze na boku vozidla ve výšce okolo 40 cm pozorovat výraznou přímou stopu černé barvy, která byla patrně způsobena černou plastovou lištou na boku předního nárazníku jedoucího vozidla, která tomuto poškození tvarově i rozměrově odpovídá. Na prahu pod předními dveřmi stojícího vozidla lze vidět otěrové stopy pneumatiky předního kola jedoucího vozidla. Levé zpětné zrcátko vozidla je vyvrácené, jelikož došlo ke kontaktu s pravým zpětným zrcátkem vozidla jedoucího. Výrazné poškození je pak možné pozorovat na levém předním kole stojícího vozidla, jak již bylo zmíněno, toto poškození vzniklo při kolizi předních kol obou vozidel. U stojícího vozidla je viditelné poškození kola výraznější. Plechový ráfek kola je deformován ve směru střetu, taktéž došlo k proražení a úniku vzduchu z pneumatiky. Rovněž lze usuzovat, že při kolizi kol byla poškozena geometrie přední nápravy u obou vozidel.



Obr. 39 Poškození stojícího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 14°

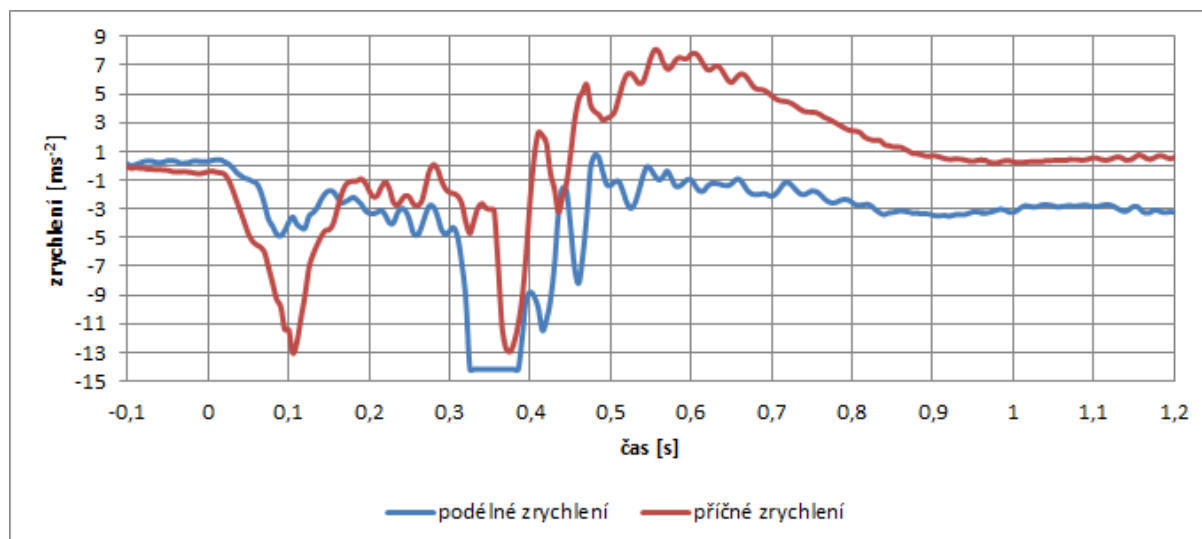


Obr. 40 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 2 pod úhlem 14°



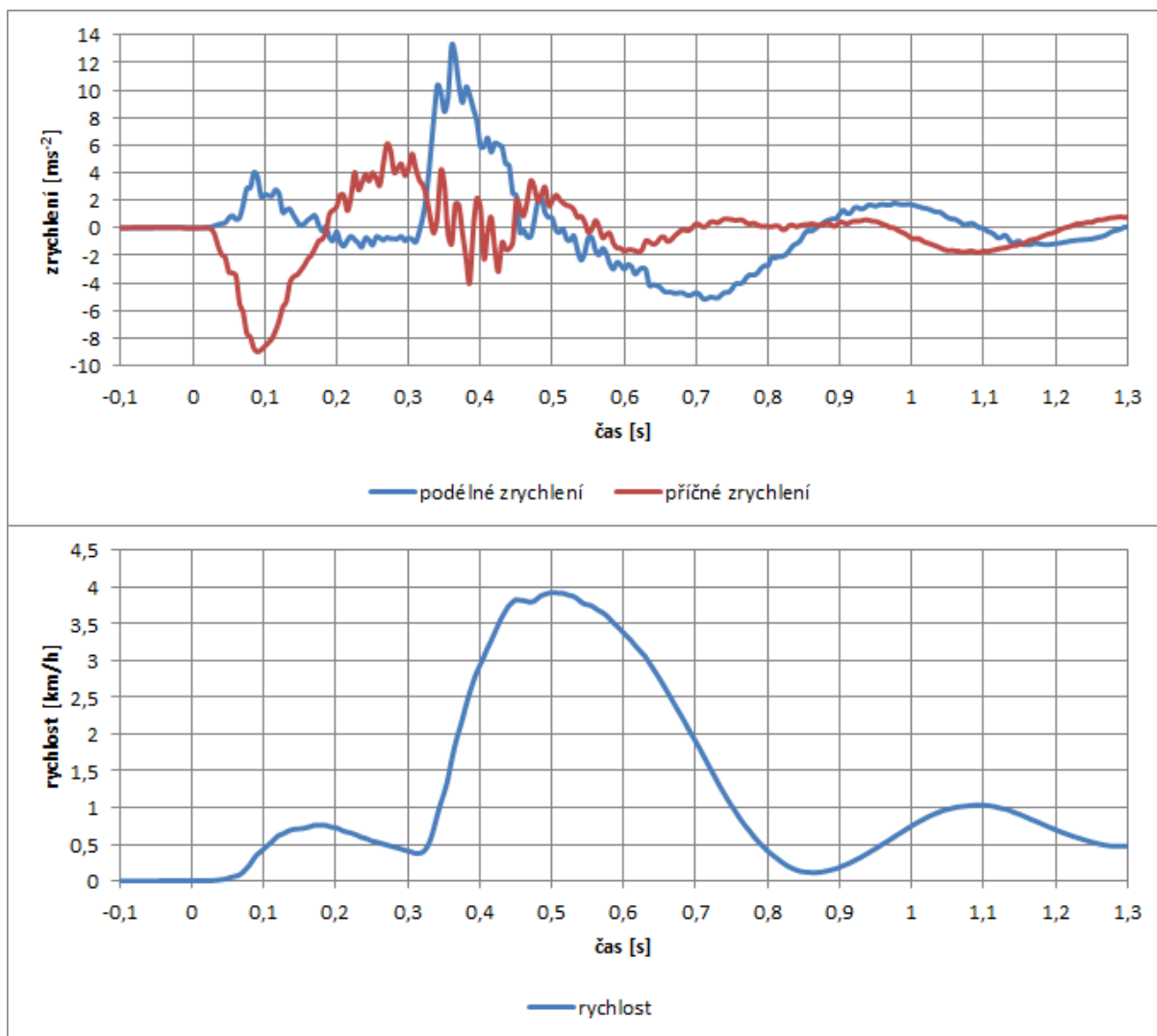
Graf 16 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem  $14^\circ$

Průběh grafu je srovnatelný s ostatními testy. Po pozvolném rozjezdu následuje snaha o udržení konstantní rychlosti na hodnotě požadované pro provedení experimentu. Následuje fáze střetu, která je charakterizována výraznými výkyvy obou složek zrychlení a prudkým poklesem rychlosti vozidla. V čase 0,33 s nastává největší výkyv podélné složky zrychlení, což lze spojit s okamžikem kolize předních kol vozidel. Následně je jedoucí vozidlo odmrštěno mírně do strany a dostává se mimo kontakt s vozidlem stojícím, dále již ke kontaktu vozidel nedochází. Z toho důvodu je fáze střetu u tohoto pokusu poměrně krátká.



*Graf 17 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem 14°*

Detailní pohled na průběh složek zrychlení dobře ukazuje výkyvy hodnot. Zajímavým místem je pasáž mezi časem 0,33s a 0,38 s, kde podélné zrychlení dosahuje stejné hodnoty, a to -14,17  $\text{ms}^{-2}$ . Jelikož je nepravděpodobné, že by se vozidlo po tento časový úsek pohybovalo s konstantní hodnotou podélného zrychlení, lze usuzovat, že chování křivky v tomto úseku je způsobeno omezením měřicího přístroje, který není schopen naměřit vyšší hodnotu. Největší výkyv příčné složky zrychlení nastává v čase 0,11 s, kdy hodnota příčného zrychlení dosahuje -13,03  $\text{ms}^{-2}$ . Největší výkyv příčného zrychlení směrem do kladných hodnot nastává v čase 0,56 s, hodnota činí 8,1  $\text{ms}^{-2}$ , k dosažení této hodnoty však došlo již v momentě, kdy vozidla nebyla v kontaktu, proto ji nelze považovat za maximální hodnotu příčného zrychlení dosaženou při střetu.



*Graf 18 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 2 pod úhlem  $14^\circ$*

Na grafu složek zrychlení stojícího vozidla je patrné, že k největšímu výkyvu hodnoty příčného zrychlení došlo v čase 0,09 s, tedy bezprostředně po střetu. Největší výkyv podélné složky zrychlení byl dosažen v čase 0,36 s, což lze přímo spojit s již zmiňovanou kolizí předních kol vozidel. Tato skutečnost je rovněž charakterizována výrazným nárůstem rychlosti stojícího vozidla. Po této kolizi došlo také k podélnému kmitání stojícího vozidla, což je charakterizováno dalším průběhem křivky podélného zrychlení, rovněž se tato skutečnost v menší míře projevuje na křivce rychlosti. Hodnoty dosažené při výkyvu podélné složky zrychlení v čase okolo 0,7 s nelze považovat za minimum dosažené při střetu vozidel, jelikož v dané době již vozidla nebyla v kontaktu.

V následující tabulce jsou vyneseny všechny podstatné údaje získané při experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,48	0,48	s
Předstřetová rychlost	29,6	0	km/h
Postřetová rychlost	20,6	3,8	km/h
Změna rychlosti	-9	3,8	km/h
Maximální podélné zrychlení	0,75	13,25	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-14,17	-1,38	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-5,13	2,2	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	5,67	6,11	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-13,03	-8,98	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	-3,32	-0,39	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 9 Důležité hodnoty získané z testu č. 2, úhel 14°*

Z naměřených hodnot je patrné, že výkyvy obou složek zrychlení jedoucího vozidla směrem do minima jsou značné, stejně jako maximální hodnoty podélného zrychlení vozidla stojícího. Tato skutečnost je způsobena kolizí předních kol obou vozidel, ke které během experimentu došlo.



### 4.3.7 Úhel 14° - pokus č. 3

Při třetím pokusu pod úhlem 14° byla předstřetová rychlost jedoucího vozidla 36 km/h.

Oblast poškození jedoucího vozidla je srovnatelná s předchozími pokusy. Poškození je soustředěno na přední části levého předního blatníku, okolo podběhu levého předního kola a na levém rohu předního nárazníku. Plastické deformace na levém předním blatníku se nacházejí ve výšce mezi 40 – 70 cm, hloubka poškození je větší, než u předchozích pokusů pod stejným úhlem. To je dáno jednak vyšší předstřetovou rychlostí, ovlivňujícím faktorem je však také narušená antikorozní ochrana plechového dílu v těchto místech, což je patrné z dostupných fotografií. Při střetu došlo k odtržení platové lišty, která se nacházela nad podběhem předního kola, a k vylomení levého rohu předního nárazníku. Rovněž došlo k poškození levého předního směrového světla a k vylomení lišty zpod levého předního světlometu.

Nejzásadnější je však poškození levého předního kola poloosy nápravy. Při experimentu došlo, podobně jako u předchozího pokusu, ke kolizi předních kol vozidel, v tomto případě kolidovalo levé přední kolo jedoucího vozidla s pravým předním kolem stojícího vozidla. Vzhledem k vyšší předstřetové rychlosti jedoucího vozidla byly síly vzniklé při kolizi kol tak velké, že vedle poškození plechového ráfku kola a proražení pneumatiky došlo také ke zlomení levé poloosy přední nápravy. Vlivem tohoto poškození bylo vozidlo neschopné dalšího provozu a v následujícím pokusu muselo být nahrazeno jiným na místě dostupným vozidlem. Podobně jako v předchozím pokusu, i v tomto případě došlo při kolizi kol k odmrštění jedoucího vozidla do strany, směrem od vozidla stojícího, čímž se vozidla dostala mimo kontakt. Následně již ke kontaktu vozidel nedošlo.



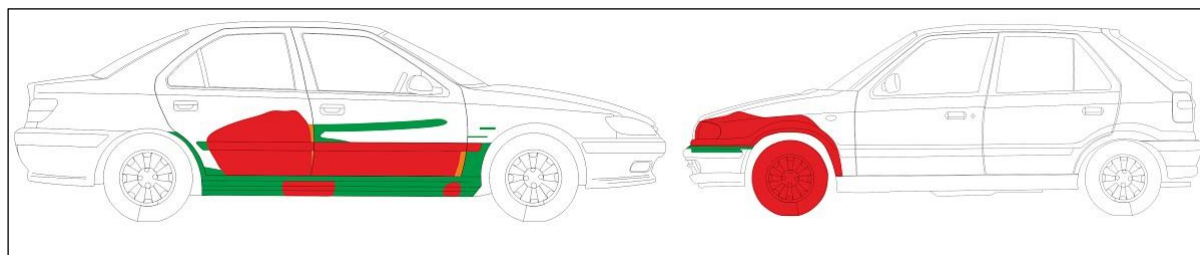
*Obr. 41 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 14°*

Stojící vozidlo je poškozeno po celém boku od hrany podběhu zadního kola až po přední kolo. Na hraně podběhu pravého zadního kola se nachází množství ulpělého laku bílé barvy z jedoucího vozidla. Výrazná dřecí stopa se značným množstvím ulpělého laku se nachází na zadních dveřích ve výšce 50 – 70 cm, což rozměrově odpovídá levému přednímu blatníku jedoucího vozidla. Na zadních dveřích je též možné pozorovat rozsáhlou plastickou deformaci kapsovitého tvaru, která vznikla v prvních momentech střetu. Ve výšce cca 40 cm se nachází přímá dřecí stopa tmavé barvy, která probíhá přes zadní i přední dveře vozidla po celé délce. Ta byla patrně způsobena plastovou lištou černé barvy nacházející se na předním nárazníku jedoucího vozidla. Hloubka deformace předních dveří není tak výrazná jako u zadních dveří. Při střetu došlo k vylomení plastové lišty z boku předních dveří. Poškozen je rovněž práh vozidla, zde je však zásadním vlivem velmi pokročilá koroze zmíněného dílu. Na pravém předním kole vozidla nelze rozpoznat žádné viditelné poškození, a to i přes skutečnost, že došlo k již zmiňované kolizi předních kol obou vozidel. Lze však předpokládat, že tato kolize by měla zásadní negativní vliv na geometrii přední nápravy stojícího vozidla.

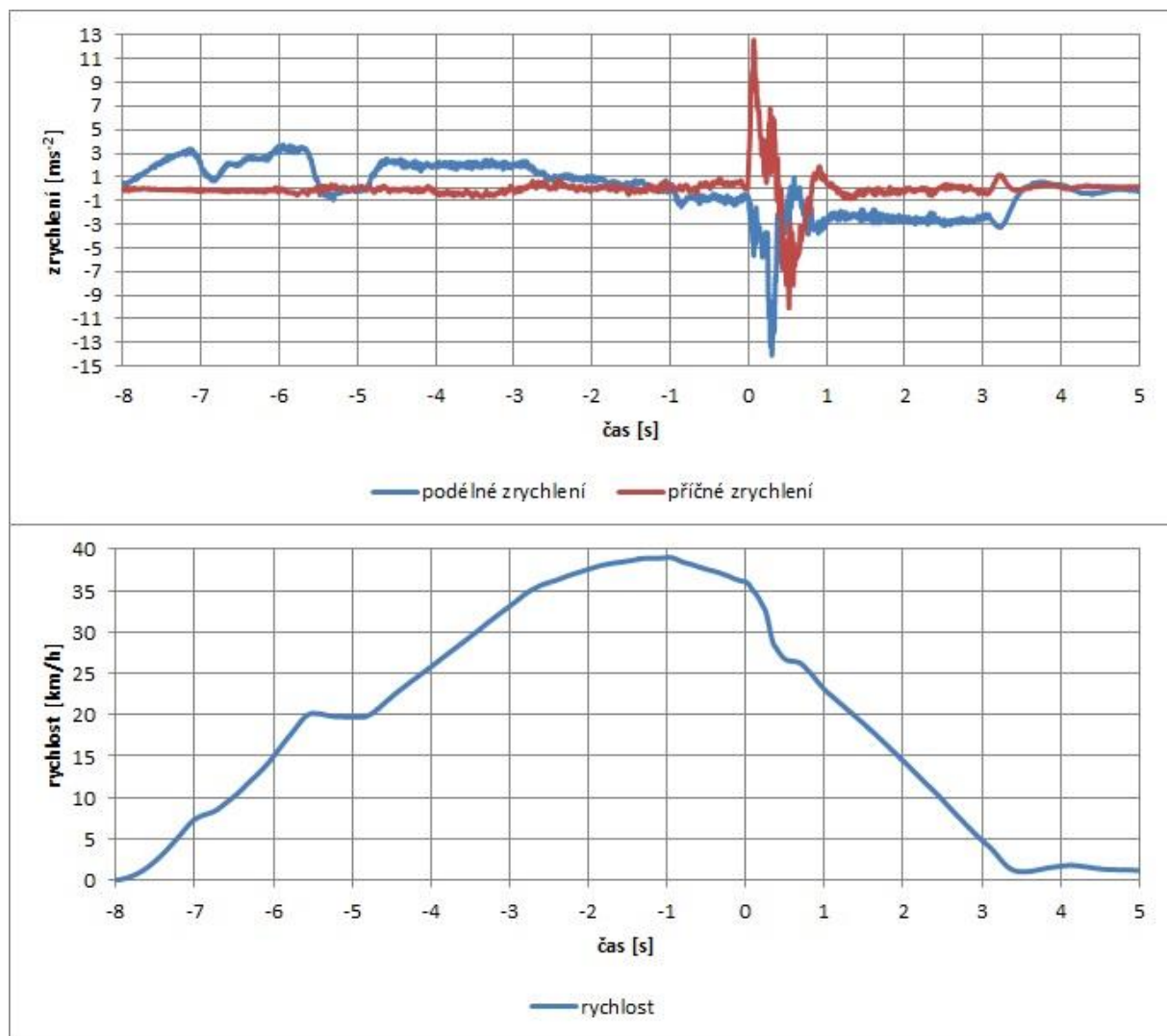


*Obr. 42 Poškození stojícího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 14°*

Grafické znázornění rozsahu poškození obou vozidel je na obrázku níže.



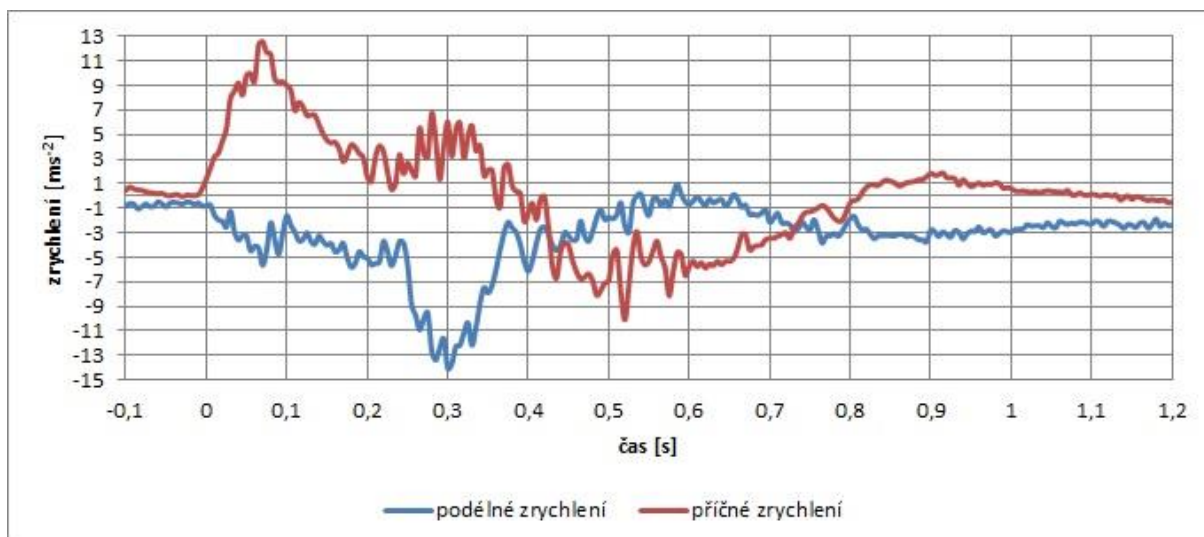
*Obr. 43 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 3 pod úhlem 14°*



Graf 19 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem  $14^\circ$

V grafu je znázorněn průběh obou složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla.

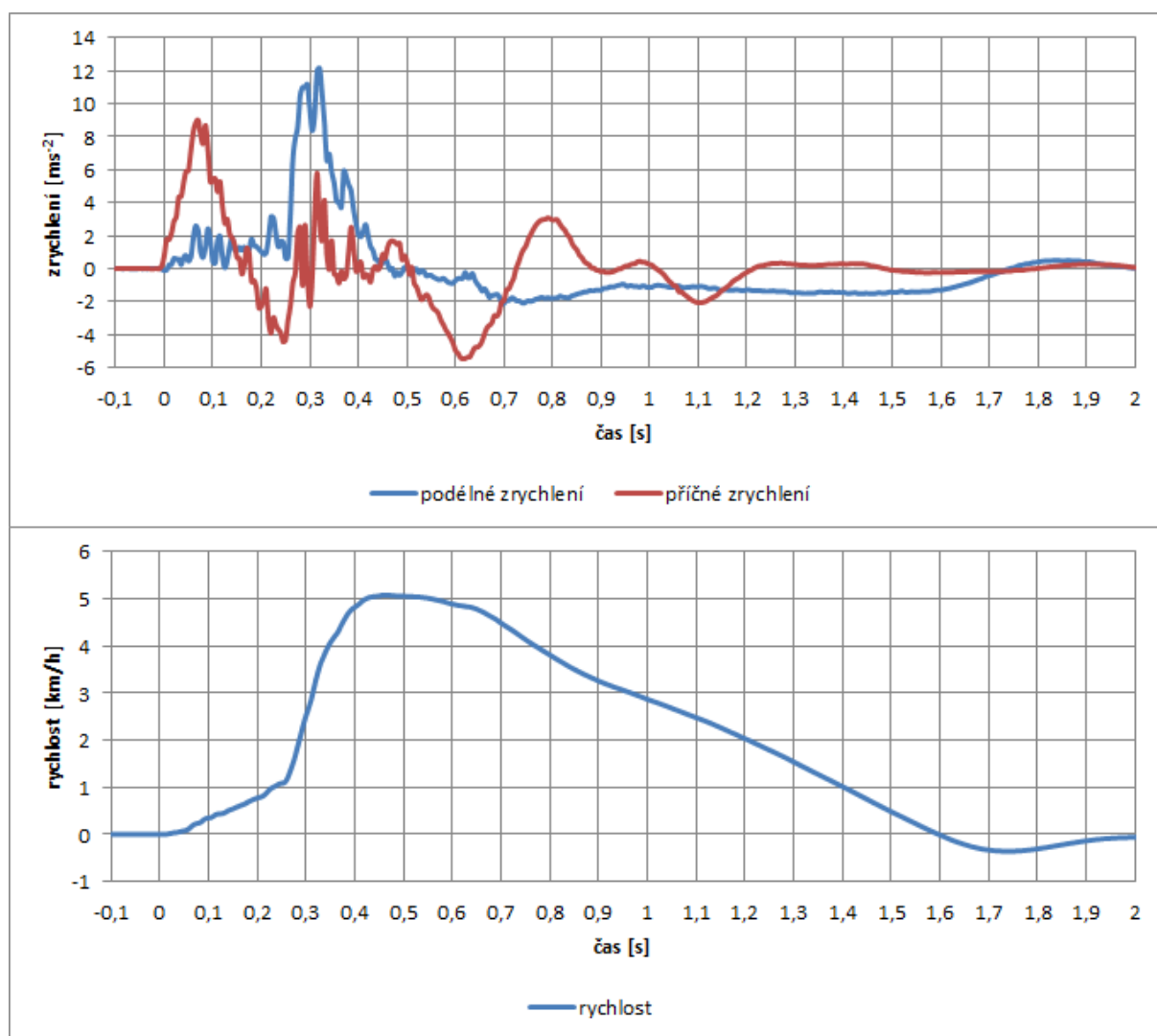
Jak lze vidět, rozjezd vozidla je v tomto případě mírně prudší než v předchozích dvou pokusech, což je zapříčiněno vyšší požadovanou nárazovou rychlostí. Časový úsek s konstantním průběhem rychlosti, a tedy nulovým zrychlením, odpovídá momentu, kdy řidič přeřadil na druhý rychlostní stupeň. V čase -1 s, tedy 1 sekundu před střetem, rychlost mírně klesá, což je patrně zapříčiněno uvolněním plynového pedálu řidičem – z dostupných videozáznamů vyplývá, že k brzdění před střetem nedošlo. V samotné fázi střetu můžeme pozorovat charakteristické výkyvy obou složek zrychlení, doprovázené prudkým poklesem rychlosti. Střetová fáze trvá velice krátce, poté následuje brzdění vozidla do zastavení.



*Graf 20 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem 14°*

Z detailního pohledu na průběh složek zrychlení lze pozorovat, že k maximálnímu výkyvu příčné složky dochází v čase 0,07 s, tedy bezprostředně po prvotním kontaktu. Největší výkyv podélné složky zrychlení nastává v čase 0,3 s, kdy dochází ke zmiňované kolizi předních kol. Jedoucí vozidlo bylo následně odmrštěno do strany a dostalo se mimo kontakt se stojícím vozidlem, k dalšímu kontaktu již nedošlo. Z toho důvodu nelze v následných výkyvech příčného zrychlení směrem do záporných hodnot hledat minimum dosažené během střetu.





*Graf 21 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 3 pod úhlem 14°*

Podobně jako u jedoucího vozidla, nastává i u stojícího vozidla největší výkyv příčné složky zrychlení bezprostředně po prvním kontaktu v čase 0,07 s. Největší výkyv podélného zrychlení stojícího vozidla nastává v čase 0,32 s, stejně jako u jedoucího vozidla jej lze spojit s kolizí předních kol vozidel. Zatímco křivka podélného zrychlení poměrně rychle klesá bez větších výkyvů, u příčné složky je možné pozorovat její kolísání ve spojitosti s tím, jak bylo vozidlo při střetu rozkmitáno. Tyto výkyvy pokračují i poté, co se vozidla dostala mimo kontakt, postupně jsou však tlumeny směrem k nulové hodnotě.

V následující tabulce jsou vynesena všechna důležitá data získaná při experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,4	0,4	s
Předstřetová rychlost	36	0	km/h
Postřetová rychlost	27,8	4,8	km/h
Změna rychlosti	-8,2	4,8	km/h
Maximální podélné zrychlení	-0,74	12,17	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-14,05	-0,11	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-5,63	3,11	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	12,59	9,01	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-2,07	-4,43	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	4,63	1,56	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 10 Důležité hodnoty získané z testu č. 3, úhel 14°*

#### 4.3.8 Úhel 14° - pokus č. 4

Jelikož vozidlo Škoda Felicia použité v předchozím pokusu bylo poškozeno tak, že nebylo schopné dalšího provozu, muselo být pro provedení posledního pokusu vybráno jiné vozidlo, které bylo na místě dostupné. Jako narážející vozidlo pro čtvrtý pokus bylo tedy vybráno vozidlo Daewoo Matiz, které z dostupných vozidel jako jediné rozměrově přibližně odpovídalo původnímu vozidlu Škoda Felicia. Do interiéru vozidla bylo dodatečně umístěno závaží, jelikož hmotnost vozidla Daewoo Matiz byla nižší než hmotnost původního vozidla.

Předstřetová rychlost dosažená při čtvrtém pokusu činila 43 km/h.

Stejně jako u předchozích pokusů, i v tomto případě je poškození jedoucího vozidla soustředěno v oblasti předního blatníku na nárazové straně. Na pravém předním blatníku na jeho přední části se nachází plastická deformace výraznější hloubky ve výšce 50 – 70 cm. Díl je

dále deformován v okolí podběhu pravého předního kola, ve výšce mezi 40 – 70 cm je možné pozorovat velké množství ulpělého laku ze stojícího vozidla. Částičky ulpělého laku a krátké dřecí stopy se rovněž nacházejí na přední hraně pravých předních dveří vozidla. V těchto místech bylo vlivem nárazu také zřetelně poškozeno lícování plechových dílů karoserie. Další otěrové stopy je možné pozorovat na pravém rohu předního nárazníku.

Podobně jako u předchozích dvou pokusů, i v tomto případě došlo při střetu ke kolizi předních kol spolukolidujících vozidel. To má za následek značné poškození pravého předního kola jedoucího vozidla. Při kolizi došlo k mírné deformaci ráfku kola a byla proražena pneumatika. Také však došlo ke zlomení pravé poloosy řízení. Toto poškození sice není při vnějším pohledu na kolo vozidla patrné, jedná se však o velmi závažné poškození, které zabraňuje vozidlu v dalším provozu.





*Obr. 44 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 14°*

Poškození stojícího vozidla probíhá od zadní hrany levých zadních dveří až k podběhu levého předního kola. Na zadních i předních dveřích se nalézají poměrně hluboké kapsovitě deformace. Ve výšce okolo 60 cm lze pozorovat ulpělé částečky laku červené barvy z jedoucího vozidla. Plastová lišta, která se nalézala na boku vozidla ve výšce 50 cm, byla při střetu vylomena po celé délce vozidla. Na předních dveřích vozidla se ve výšce okolo 40 cm nachází výrazná přímá mírně klesající tvarová stopa, která byla patrně způsobena tvarem předního nárazníku jedoucího vozidla. Velmi výrazné poškození prahu vozidla po celé jeho délce bylo bezpochyby ovlivněno silnou korozí tohoto dílu karoserie. Na předním kole vozidla nelze pozorovat žádné zřetelné stopy poškození, lze se však domnívat, že vlivem kolize kol, ke které během experimentu došlo, byla výrazně poškozena geometrie přední nápravy vozidla.

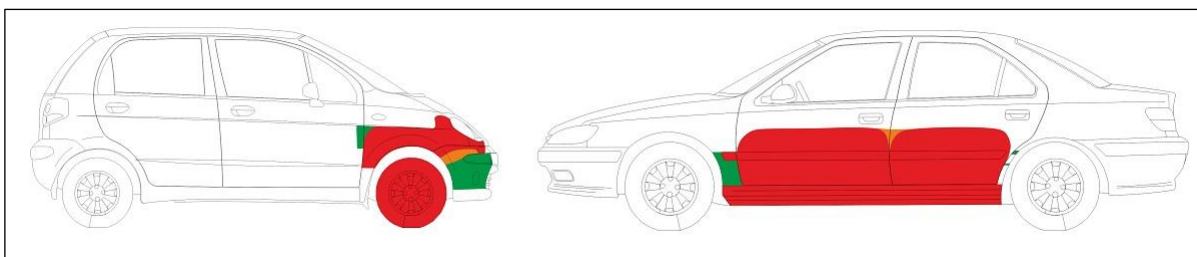


*Obr. 45 Poškození stojícího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 14°*

Vlivem zmiňované kolize předních kol obou vozidel došlo k odmrštění vozidel od sebe. Oproti předchozím pokusům bylo ze své původní polohy výrazně odmrštěno také stojící vozidlo, jak lze vidět na následujícím obrázku.

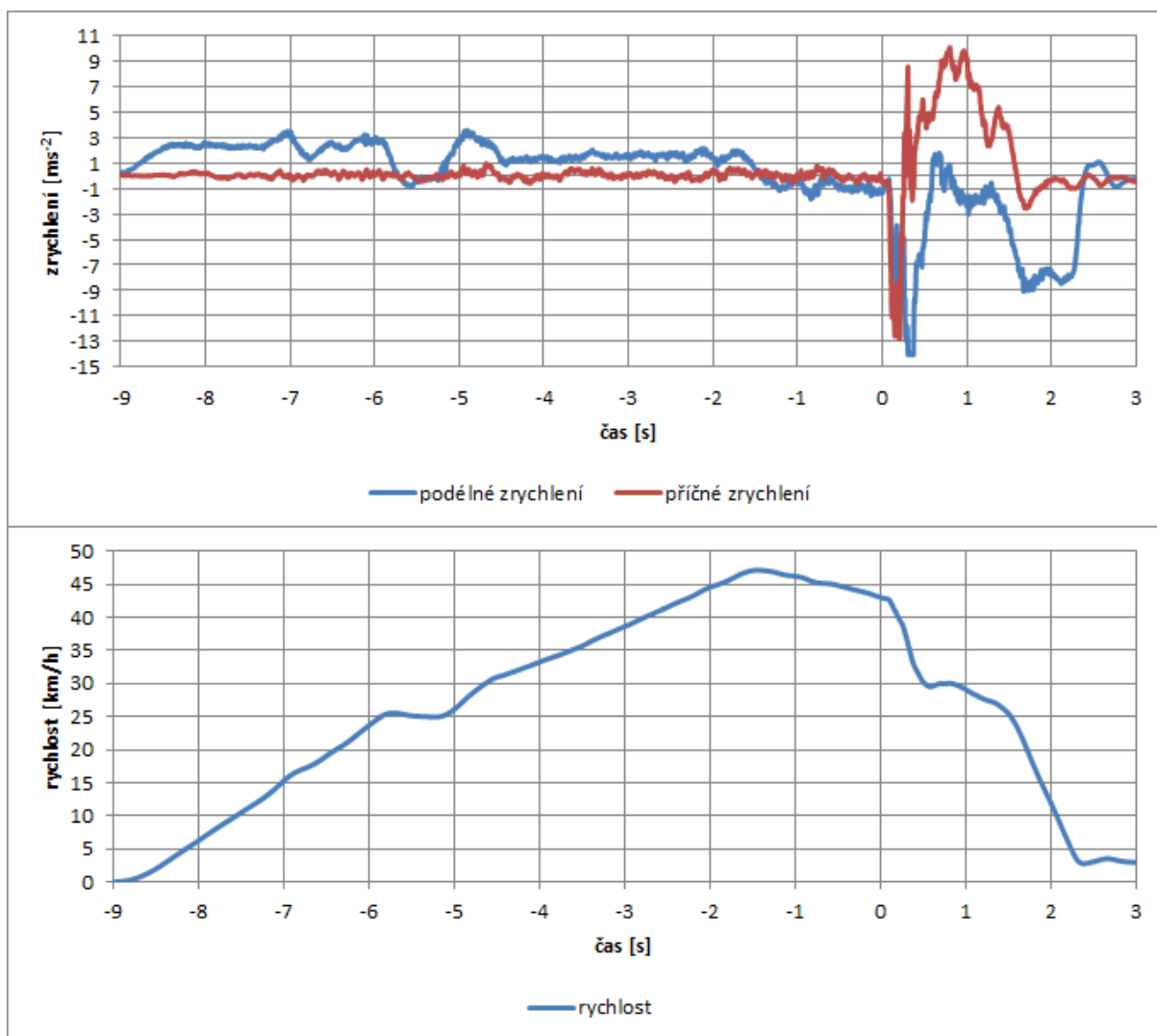


*Obr. 46 Konečná poloha stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14°*



Obr. 47 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 4 pod úhlem  $14^\circ$

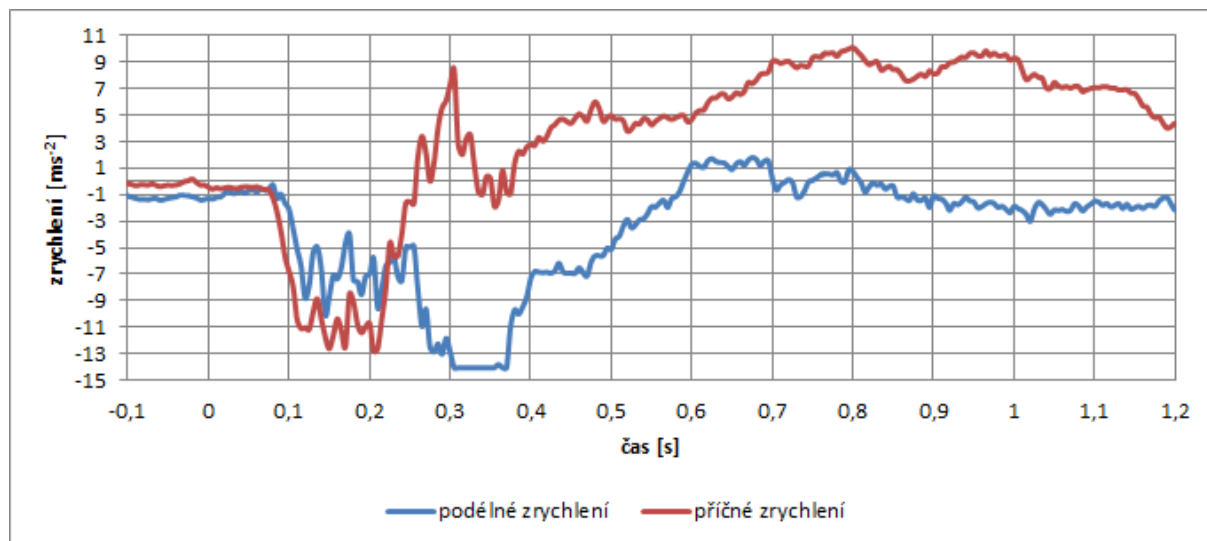
Následující graf zobrazuje průběh rychlosti a obou složek zrychlení jedoucího vozidla.



Graf 22 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem  $14^\circ$

Rozjezd vozidla probíhá podobně jako u předchozího pokusu, časový úsek s nulovým zrychlením odpovídá okamžiku řazení vyššího rychlostního stupně řidičem vozidla. Mírný pokles rychlosti těsně před střetem je způsoben uvolněním plynového pedálu řidičem vozidla, jelikož na dostupných videozáznamech není patrné, že by řidič vozidla před střetem brzdil. Střet je charakterizován výraznými výkyvy obou složek zrychlení a prudkým poklesem rychlosti. Během

střetu došlo ke kolizi předních kol vozidel podobně jako u předchozích dvou experimentů, následkem čehož byla vozidla od sebe odmrštěna a dostala se mimo kontakt.

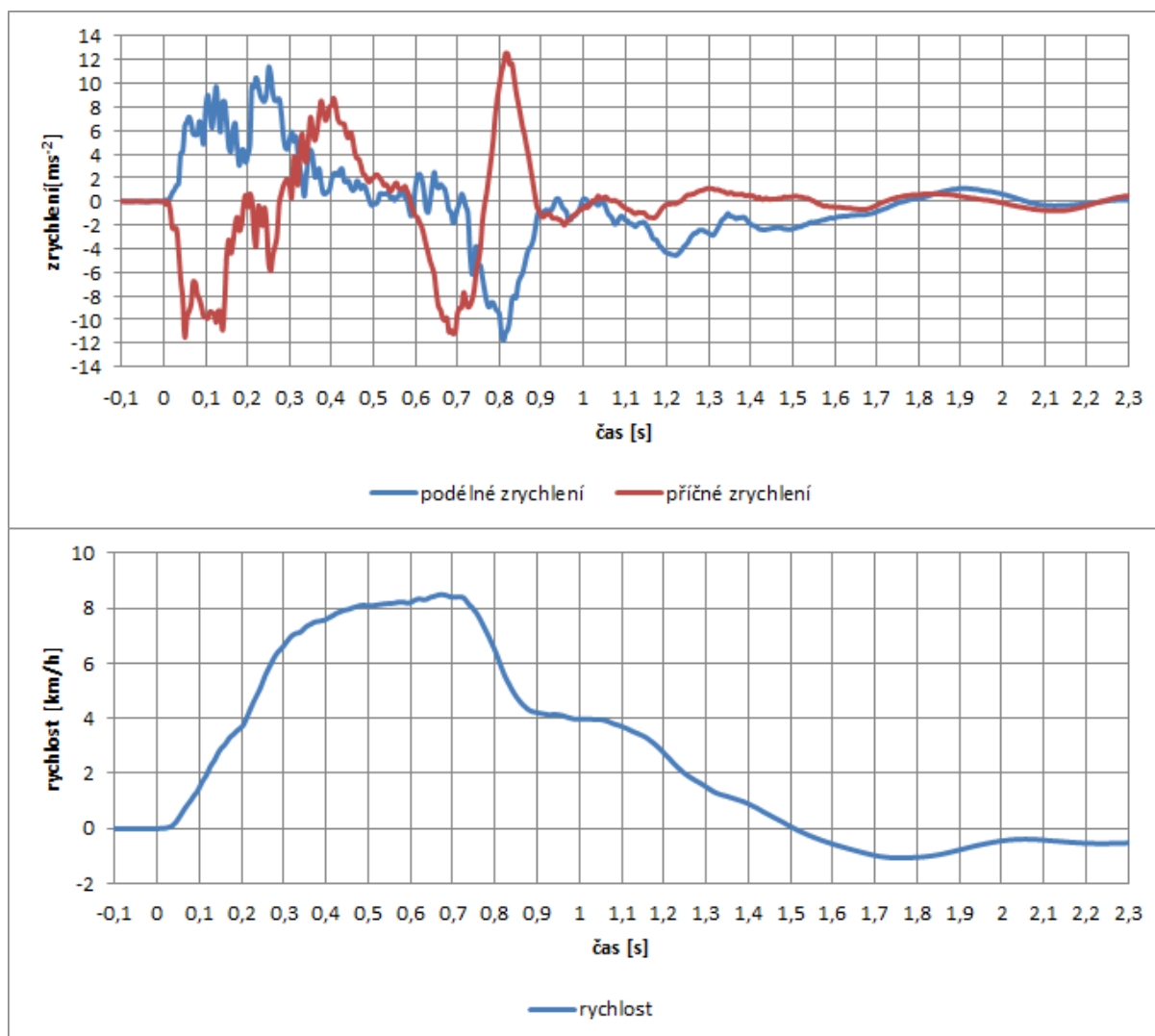


*Graf 23 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14°*

Na detailním zobrazení složek zrychlení lze dobře pozorovat velké výkyvy příčné složky zrychlení, které nastávají v časovém úseku mezi 0,1 a 0,2 s. V čase 0,3 s je patrný počátek krátkého úseku s konstantní hodnotou podélného zrychlení. Tento úsek koresponduje s časem kolize předních kol vozidla a průběh křivky podélného zrychlení je v tomto případě dán omezením měřicího přístroje, který není schopen naměřit vyšší hodnotu zrychlení. Lze tedy uvažovat, že skutečně dosažená hodnota podélného zrychlení mohla být vyšší, než bylo naměřeno. Následně se křivka podélného zrychlení vrací zpět k nule, zároveň dochází k příčnému kmitání vozidla, jak je patrné z průběhu křivky příčného zrychlení.

Následující graf zobrazuje průběh rychlosti a obou složek zrychlení stojícího vozidla.





Graf 24 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem  $14^\circ$

U stojícího vozidla dochází k výrazným výkyvům obou složek zrychlení bezprostředně po střetu, výkyvy příčné složky v časovém intervalu mezi 0 s a 0,3 s lze spojit se vznikem kapsovitých deformací na boku vozidla. Z výkyvů podélného zrychlení směrem do kladných hodnot bezprostředně po střetu vyplývá, že stojící vozidlo bylo v počáteční fázi střetu dostatečně urychleno na to, aby se při odmrštění posunulo ze své původní polohy směrem vpřed. Proces odmrštění vozidla do strany se v grafu patrně odráží ve výkyvech příčného zrychlení v časovém intervalu 0,3 s – 0,9 s, kdy křivka příčného zrychlení nabývá přibližného sinusoidního tvaru. Dle dostupných videozáznamů dopadá vozidlo v čase 0,68 s zpět na zem, s čímž koresponduje výkyv příčné složky zrychlení směrem do kladných hodnot, který nabývá svého maxima v čase 0,82 s, a rovněž nárůst podélného zpomalení vozidla (tzn. výkyv směrem do záporných hodnot) s největší výchylkou v čase 0,81 s. Jelikož však k těmto výkyvům došlo již v době, kdy vozidla nebyla v kontaktu, nelze je považovat za maximální, respektive minimální hodnotu příčného, respektive podélného zrychlení. Rovněž lze usuzovat, že časový úsek mezi 0,33 a 0,68 s, kdy hodnota

podélného zrychlení osciluje kolem 0, odpovídá době, po kterou byla levá polovina stojícího vozidla vymršťena do vzduchu a kdy parkovací brzda tudíž nemohla brzdit vozidlo.

V následující tabulce jsou vypsána všechna podstatná data získaná při experimentu.

Veličina	Jedoucí vozidlo	Stojící vozidlo	Jednotka
Čas In-Crash-Phase	0,36	0,36	s
Předstřetová rychlost	43	0	km/h
Postřetová rychlost	34,1	7,4	km/h
Změna rychlosti	-8,9	7,4	km/h
Maximální podélné zrychlení	-0,25	11,35	$\text{ms}^{-2}$
Minimální podélné zrychlení	-14,06	0,01	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné podélné zrychlení	-6,83	5,63	$\text{ms}^{-2}$
Maximální příčné zrychlení	8,45	7,12	$\text{ms}^{-2}$
Minimální příčné zrychlení	-12,81	-11,49	$\text{ms}^{-2}$
Průměrné příčné zrychlení	-3,56	-2,92	$\text{ms}^{-2}$

*Tabulka 11 Důležité hodnoty získané z testu č. 4, úhel 14°*

## 5 KORESPONDENCE POŠKOZENÍ STOJÍCÍHO VOZIDLA A DIFERENČNÍHO PŘÍČNÉHO ZRYCHLENÍ

Následující kapitola se zabývá úvahou nad korespondencí poškození boku stojícího vozidla a velikosti absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení. Tato úvaha vychází z předpokladu, že velikost absolutní hodnoty diferenčního zrychlení udává míru interakce mezi spolukolidujícími plochami v příčném směru.

Hodnotu diferenčního příčného zrychlení můžeme stanovit pomocí výpočtu:

$$a_{př\ dif} = (\pm a_{př\ jed}) - (\pm a_{př\ st}) \quad \text{rovnice 3}$$

Kde:  $a_{př\ dif}$  – diferenční příčné zrychlení [ $\text{ms}^{-2}$ ]

$a_{př\ jed}$  – příčné zrychlení jedoucího vozidla [ $\text{ms}^{-2}$ ]

$a_{př\ st}$  – příčné zrychlení stojícího vozidla [ $\text{ms}^{-2}$ ]

Znaménka + a – ve výpočtu udávají směr působení příčného zrychlení u každého vozidla. Působí-li tato zrychlení v opačných směrech (tedy jedno v „kladném“ a druhé v „záporném“ směru), dochází ke větší míře interakce mezi kolidujícími plochami a velikost absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení tedy narůstá. Pokud příčná zrychlení jednotlivých vozidel působí ve stejném směru, je míra interakce mezi plochami nižší, a tedy i velikost absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení je nižší.

Výše zmíněným výpočtem byly z naměřených dat získány hodnoty diferenčního příčného zrychlení pro každý z provedených nárazových testů. Pomocí dostupné fotodokumentace byly stanoveny délkové rozsahy poškození boků stojících vozidel. Následně byl za použití naměřených veličin ve výpočtovém programu Microsoft Excel pro každé stojící vozidlo stanoven průběh diferenčního příčného zrychlení po boku příslušného vozidla. Pro vynesení závislosti průběhu diferenčního příčného zrychlení bylo nutné naměřená data přepočítat a stanovit dráhu, kterou jedoucí vozidlo urazilo podél boku stojícího vozidla. Výchozí skupinou dat bylo naměřené zrychlení, ze kterého byla dle následující rovnice vypočítána podélná rychlost vozidla:

$$v_{pod} = a_{pod} \cdot t + v_{pod0} \quad \text{rovnice 4}$$

Kde:  $v_{pod}$  – podélná rychlost jedoucího vozidla [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$a_{pod}$  – podélné zrychlení jedoucího vozidla [ $\text{ms}^{-2}$ ]

$t$  – časový krok daný frekvencí měřicího přístroje [s]

$v_{pod0}$  – předchozí hodnota podélné rychlosti [ $\text{ms}^{-1}$ ]

Časový krok byl přesně daný frekvencí zápisu dat měřicího přístroje, jeho hodnota činila 0,005 s. Díky tomu bylo možné vypočítat podélnou rychlost pro každý okamžik měření. Jako výchozí hodnota podélné rychlosti byla stanovena předstřetová rychlost jedoucího vozidla.

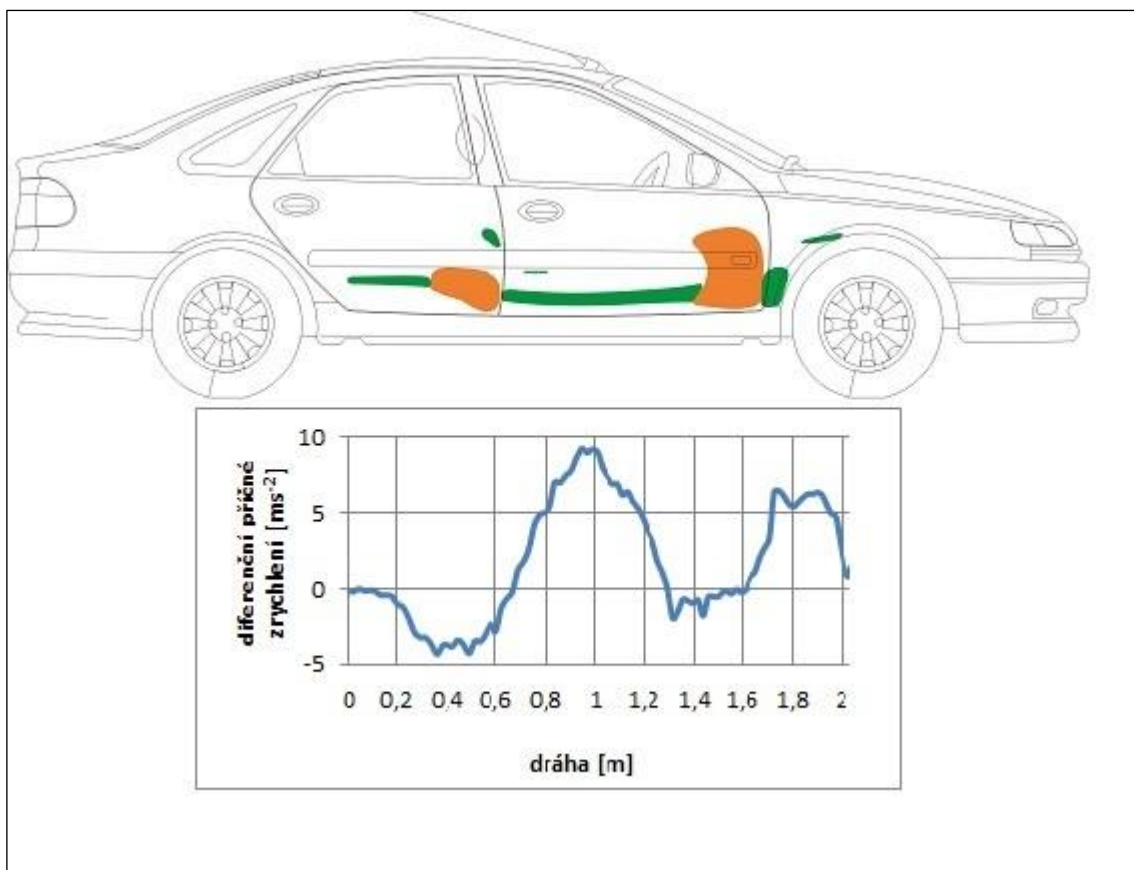
Za použití naměřených hodnot zrychlení a vypočtených hodnot rychlosti mohla být následně vypočtena dráha jedoucího vozidla. Rovnice pro výpočet má tvar:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a_{pod} \cdot t^2 + v_{pod0} \cdot t + s_0 \quad \text{rovnice 5}$$

Kde  $s_0$  značí hodnotu uražené dráhy v předchozím kroku výpočtu, přičemž krok výpočtu je určen zmíněným časovým krokem. Relevantní úsek vypočtené dráhy odpovídající délkovému rozsahu poškození na boku stojícího vozidla byl následně vynesena na svislou osu grafu, přičemž na podélnou osu grafu byly vyneseny hodnoty diferenčního příčného zrychlení. Výsledkem byl graf průběhu diferenčního příčného zrychlení v závislosti na délkovém rozsahu poškození stojícího vozidla. Uvedené výpočty jsou realizovány v příslušných výpočtových souborech pro jedoucí vozidla, které se nachází v příloze práce. Bližší komentář k výpočtovým souborům je k nalezení v souboru „Komentář k pomocným výpočtovým souborům“, který se rovněž nachází v příloze práce.

Zmíněná úvaha korespondence diferenčního příčného zrychlení s poškozením boku stojícího vozidla se však v praxi setkává s řadou omezení. Zcela zásadním omezením je skutečnost, že v této úvaze není zahrnováno poškození nacházející se na boku jedoucího vozidla.

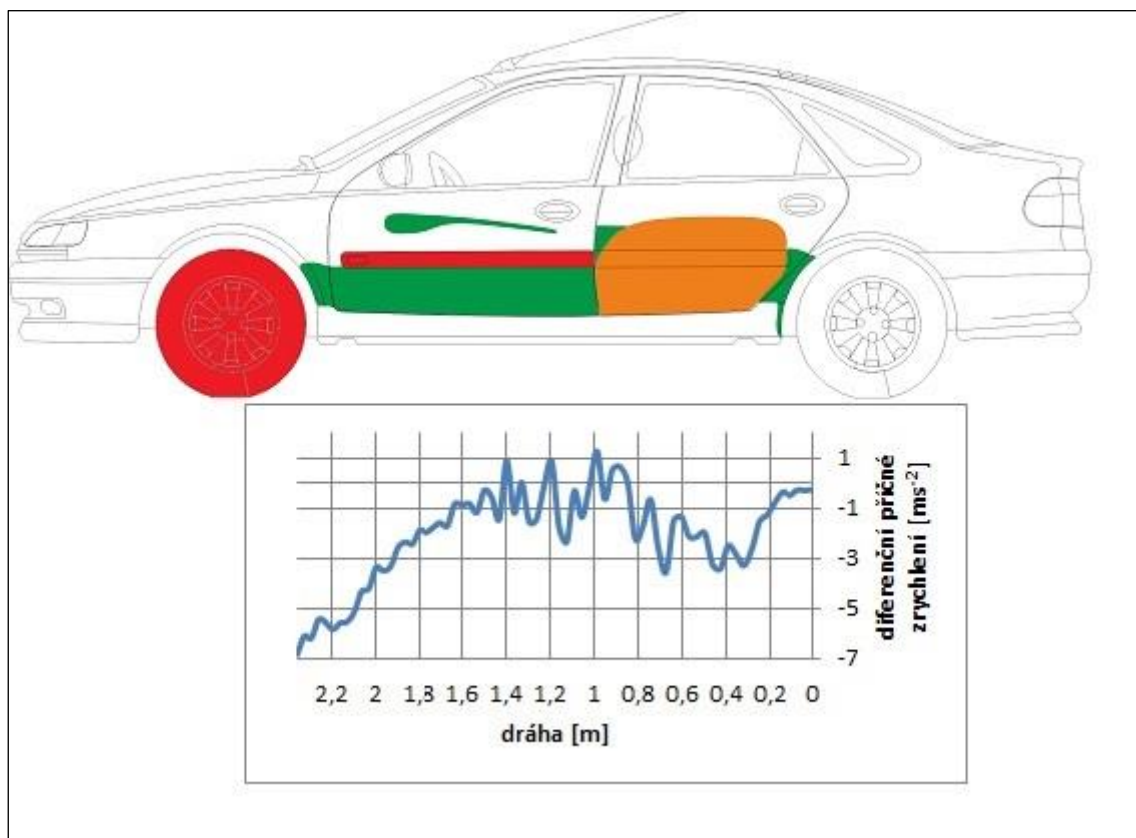




*Obr. 48 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 1, úhel 11°*

Na obrázku výše lze vidět průběh diferenčního příčného zrychlení a poškození boku vozidla z pokusu č. 1 pod úhlem 11°. Na počátku grafu je patrná nízká velikost hodnoty diferenčního příčného zrychlení, která postupně narůstá, což koresponduje s charakterem poškození boku stojícího vozidla, které z mírného (zelená barva) přechází ve větší plastickou deformaci výraznější hloubky (znázorněno oranžovou barvou). Následně křivka diferenčního příčného zrychlení směřuje k nule, toto se děje přibližně v místech B sloupku stojícího vozidla. Poté však křivka výrazně narůstá, nicméně na boku stojícího vozidla nelze pozorovat výraznější poškození. Možným vysvětlením je skutečnost, že toto grafické znázornění neuvažuje vznik deformací na boku jedoucího vozidla; z dostupné fotodokumentace je známo, že přední část boku jedoucího vozidla byla značně plasticky deformována, lze tedy uvažovat, že ke vzniku těchto poškození došlo právě v okamžiku zmiňovaného nárůstu diferenčního příčného zrychlení, kdy byla obě vozidla příčně klopena proti sobě. Vzrůstající tendence křivky ke konci grafu může být vysvětlena skutečností, že při experimentu došlo k zahákování předních kol obou vozidel.

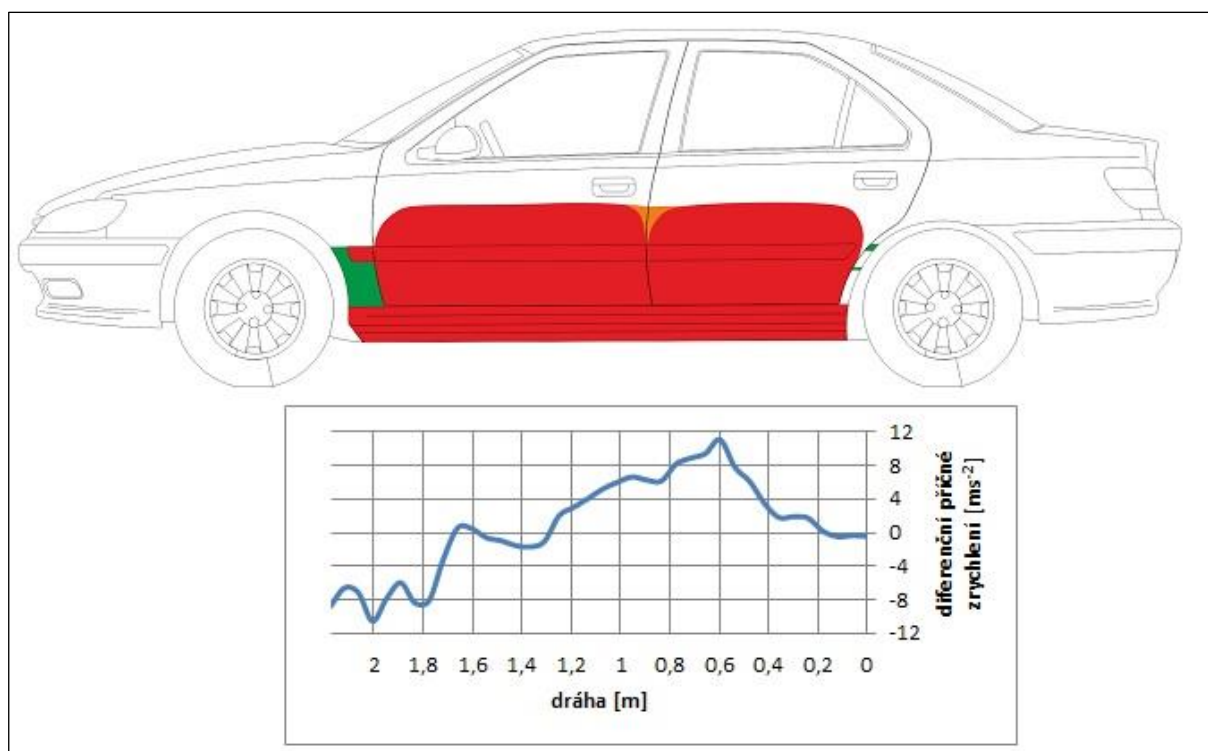
Ovlivnění grafu diferenčního příčného zrychlení kolizí kol zúčastněných vozidel lze pozorovat ve více případech. Následující obrázek ukazuje průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k průběhu poškození stojícího vozidla z pokusu č. 2 pod úhlem  $11^\circ$ . V počáteční fázi se křivka chová tak, jak by bylo možné předpokládat – velikost diferenčního příčného zrychlení narůstá, což koresponduje s rozsáhlou plastickou deformací oranžové barvy (značí poškození o hloubce 5 – 20 mm) na zadních dveřích. V místech B sloupku se křivka přibližuje k nulové hodnotě, následně dochází ke kolísání křivky kolem nuly a více směrem do záporných hodnot. To může být vysvětleno příčným rozkmitáním jednoho či obou vozidel, ke kterému došlo při přejíždění hrany mezi předními a zadními dveřmi. Poté křivka velmi výrazně klesá, avšak hloubka deformací na boku stojícího vozidla se pohybuje v hodnotách do 5 mm, lze tedy uvažovat, že se tato interakce promítla více do deformací na přední části boku jedoucího vozidla. Ke konci grafu lze pozorovat, že klesající tendence křivky se zvyšuje, což souhlasí s průběhem testu, kdy došlo k zaklesnutí předních kol vozidel.



Obr. 49 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 2, úhel  $11^\circ$

I přes jistá omezení lze však určitou korelaci mezi poškozením boku stojícího vozidla a velikostí absolutní hodnoty příčného zrychlení coby ukazatelem míry interakce mezi kolidujícími plochami vysledovat. Následující obrázek ukazuje průběh diferenčního příčného zrychlení a

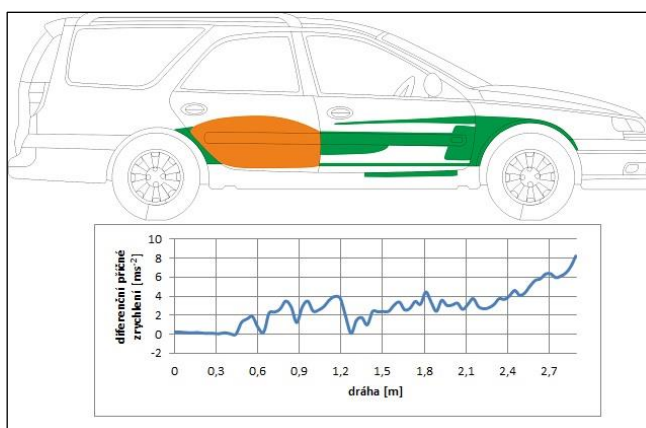
poškození stojícího vozidla z testu č. 4 pod úhlem  $14^\circ$ . Z grafu je patrné, že v místech nejvýraznějšího poškození bylo rovněž dosaženo největší velikosti diferenčního příčného zrychlení. V místech okolo B sloupku vozidla začíná hodnota postupně klesat, následně krátce kolísá kolem nuly a opět nabývá klesající tendence. Je zajímavé, že i v místech, kde hodnota diferenčního příčného zrychlení kolísá kolem nuly, činí hloubka deformací na boku stojícího vozidla více než 20 mm. Tato skutečnost může poukazovat na další možné omezení, a to málo důsledné rozlišování poškození dle hloubky. Ačkoliv je z obrázku patrné, že většina poškození na boku stojícího vozidla dosahuje hloubky větší než 20 mm, lze předpokládat, že v místech, kde je velikost absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení vyšší, bude větší rovněž hloubka plastické deformace. Přestože je veškeré poškození v těchto místech označeno červenou barvou pro kategorii „nad 20 mm“, důslednější kategorizace deformací dle hloubky s použitím více kategorií by nepochybně přinesla detailnější a přesnější pohled na věc.



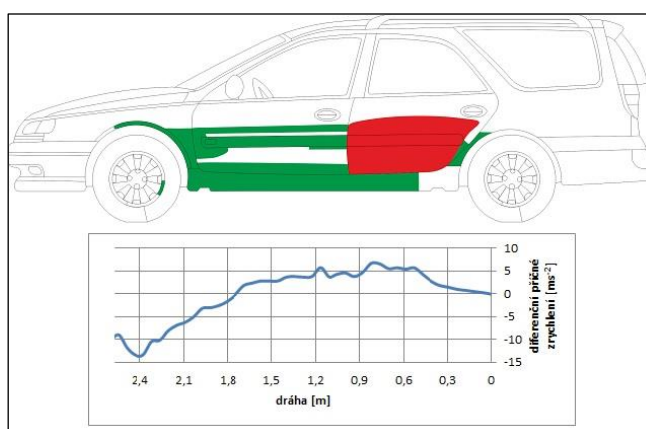
*Obr. 50 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 1, úhel  $11^\circ$*

V následující tabulce jsou pro úplnost uvedeny zbývající grafická znázornění.

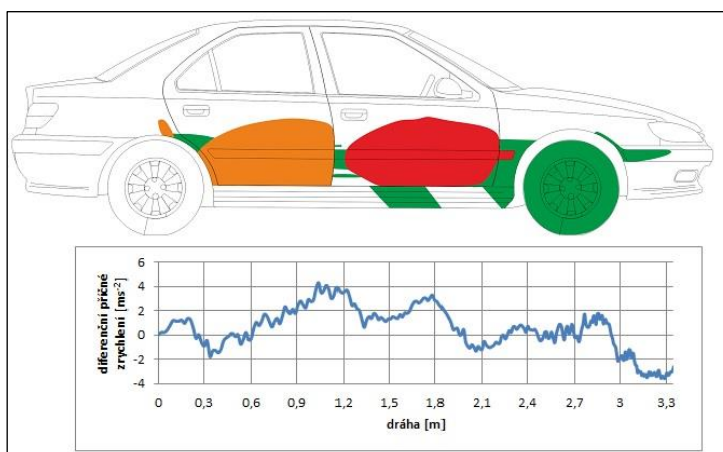
pokus č. 3,  $11^\circ$

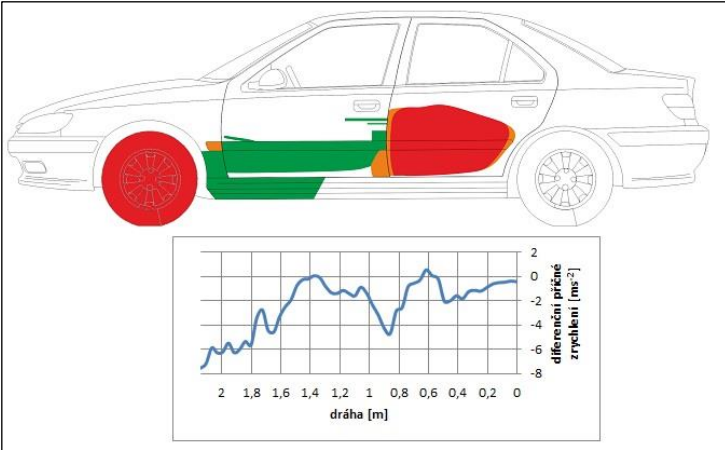
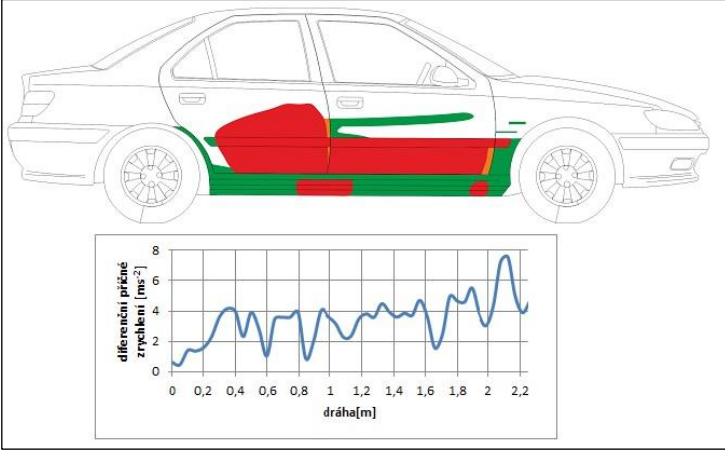


pokus č. 4,  $11^\circ$



pokus č. 1,  $14^\circ$



<p>pokus č. 2, 14°</p>	 <p>The graph for experiment 2 shows lateral differential acceleration (y-axis, -8 to 2 ms<sup>-2</sup>) versus distance (x-axis, 2 to 0 m). The curve starts at approximately -5 ms<sup>-2</sup> at 2m, rises to a peak of about 1 ms<sup>-2</sup> at 1.4m, then fluctuates between -2 and 1 ms<sup>-2</sup> until 0m.</p>
<p>pokus č. 3, 14°</p>	 <p>The graph for experiment 3 shows lateral differential acceleration (y-axis, 0 to 8 ms<sup>-2</sup>) versus distance (x-axis, 0 to 2.2 m). The curve starts at approximately 1 ms<sup>-2</sup> at 0m, rises to a peak of about 4 ms<sup>-2</sup> at 0.4m, then fluctuates between 1 and 5 ms<sup>-2</sup> until 2.2m.</p>

*Tabulka 12 Grafická znázornění průběhu diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojících vozidel z jednotlivých testů*

Vytvořené grafiky mají především informační charakter, jejich cílem je pokusit se znázornit velikost absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení jako parametru určujícího míru interakce mezi kolidujícími plochami zúčastněných vozidel. Tato úvaha je omezena především skutečností, že nezohledňuje poškození vzniklé na boku jedoucího vozidla. Toto omezení by bylo možné zanedbat pouze v případě, že plocha kolidující s bokem vozidla by byla dokonale pružná a nedocházelo na ní ke vzniku plastických deformací; případně v případě, kdy by poškození spolukolidující plochy bylo ve srovnání s poškozením boku vozidla tak nízké, až by bylo zanedbatelné. Touto myšlenou „nedeformovatelnou“ plochou by mohla být například určitá varianta pevné překážky. Pro lepší vypovídací hodnotu by rovněž bylo vhodné zavést detailnější členění poškození boku vozidla v závislosti na hloubce deformace, a to především pro větší hloubky z kategorie nad 25 mm.

Možné využití vytvořených grafických znázornění pro účely následujícího výzkumu může být především pomoc při rozvaze nad volbou tuhostních koeficientů při výpočtu korigovaných

poškozených ploch. Grafická vyjádření mohou pomoci jednak při volbě způsobu bodování poškozených ploch vozidla v závislosti na hloubce deformace, rovněž tak i při tvorbě přibližné tuhostní mapy boku vozidla a volbě tuhostního koeficientu (případně více tuhostních koeficientů), udávajícího váhu příslušné tuhé plochy vozidla.

Dále by zpracovaná znázornění mohla podpořit detailnější provedení barevného hodnocení poškozených ploch vozidla. Jak již bylo zmíněno, zejména v oblasti poškození s hloubkou deformace nad 20 mm se nachází jisté rezervy, jelikož průběh diferenčního příčného zrychlení je i u rozsáhlých červeně znázorněných ploch různý. Vytvořená grafická znázornění by tak mohla přispět lepšímu porozumění vzniku poškození na stojícím vozidle a jeho detailnější klasifikaci, při které by mohlo být využíváno větší množství kategorií dle hloubky deformace nebo například dle míry interakce udávané velikostí hodnoty diferenčního příčného zrychlení.

## 6 OVĚŘENÍ HYPOTÉZY O PŘÍMÉ ÚMĚRNOSTI MEZI POŠKOZENÍM VOZIDLA A PŘÍČNOU SLOŽKOU HYBNOSTI

Tato kapitola se zabývá ověřením jedné z hypotéz, které ve své diplomové práci formuloval T. Praus. Konkrétně se jedná o „Hypotézu I“. Ta se zakládá na úvaze, že existuje přímá úměrnost mezi poškozením boku vozidla a diferenční příčnou složkou hybnosti vozidla. [4]

Postup výpočtu a stanovení vstupních údajů bylo stanoveno autorem hypotézy v diplomové práci a podle těchto zásad bylo postupováno i zde. Postupně bylo stanoveno poškození vozů a podle hloubky deformace rozříděno do tří kategorií – do 5 mm (zelená), 5- 20 mm (oranžová) a nad 20 mm (červená). Plochy jednotlivých poškození byly za použití CAD programu číselně vypočítány a bylo určeno jejich procentuální zastoupení vzhledem k celkové ploše boku vozidla. Plocha boku vozidla byla ohraničena spodní hranou boku vozidla dole a spodní hranou bočních skel nahoře tak, jak bylo stanoveno autorem hypotézy.[4]

Výpočet diferenční hodnoty příčné hybnosti byl dán rovnicí dle hypotézy T. Prause:

$$p = m_{X+Ř} \cdot v_{před X} \cdot \sin(\alpha) \quad \text{rovnice 6}$$

Kde  $m_{X+Ř}$  je hmotnost daného vozidla X s řidičem,  $v_{před X}$  hodnota předstřetové rychlosti vozidla X a  $\sin(\alpha)$  úhel mezi podélnými osami vozidel. [4]

Jelikož autor hypotézy již ve své diplomové práci vyloučil spojitost mezi procentuální mírou poškození jednotlivých vozidel a hodnotou příčné hybnosti, bylo přikročeno přímo k výpočtu sumy korigovaného poškození pro každý provedený test, a to stejným způsobem, jakým postupoval autor hypotézy. Pro každou kategorii poškození byl stanoven určitý koeficient, další koeficient byl stanoven pro oblasti s vyšší tuhostí. Obecný výpočet korigované procentuální plochy poškození za použití koeficientů byl proveden dle rovnic stanovených autorem hypotézy (v textu autorovy práce označované jako Rovnice 12 a Rovnice 13) [4]:

$$\sum S_{tX} = k_z \cdot \sum S_{tzX} + k_o \cdot \sum S_{toX} + k_{\check{c}} \cdot \sum S_{t\check{c}X} \quad \text{rovnice 7}$$

$$S_X = \frac{\sum S_{korX}}{S_{cX}} = \frac{k_z \cdot \sum S_{tzX} + k_o \cdot \sum S_{toX} + k_{\check{c}} \cdot \sum S_{t\check{c}X} + k_t \cdot \sum S_{tX}}{S_{cX}} \quad \text{rovnice 8}$$

Kde:  $S_{tX}$  – celková plocha poškození tuhých částí vozidla X

$S_{tzX}$ ,  $S_{toX}$ ,  $S_{tčX}$  – zelené, oranžové a červené plochy v tužších místech vozidla

X

$S_{zX}$ ,  $S_{oX}$ ,  $S_{čX}$  – zelené, oranžové a červené plochy mimo tuhé části vozidla X

$k_z$ ,  $k_o$ ,  $k_č$  – koeficienty zelených, oranžových a červených ploch

$k_t$  – tuhostní koeficient

$S_{korX}$  – vypočítaná korigovaná plocha vozidla X

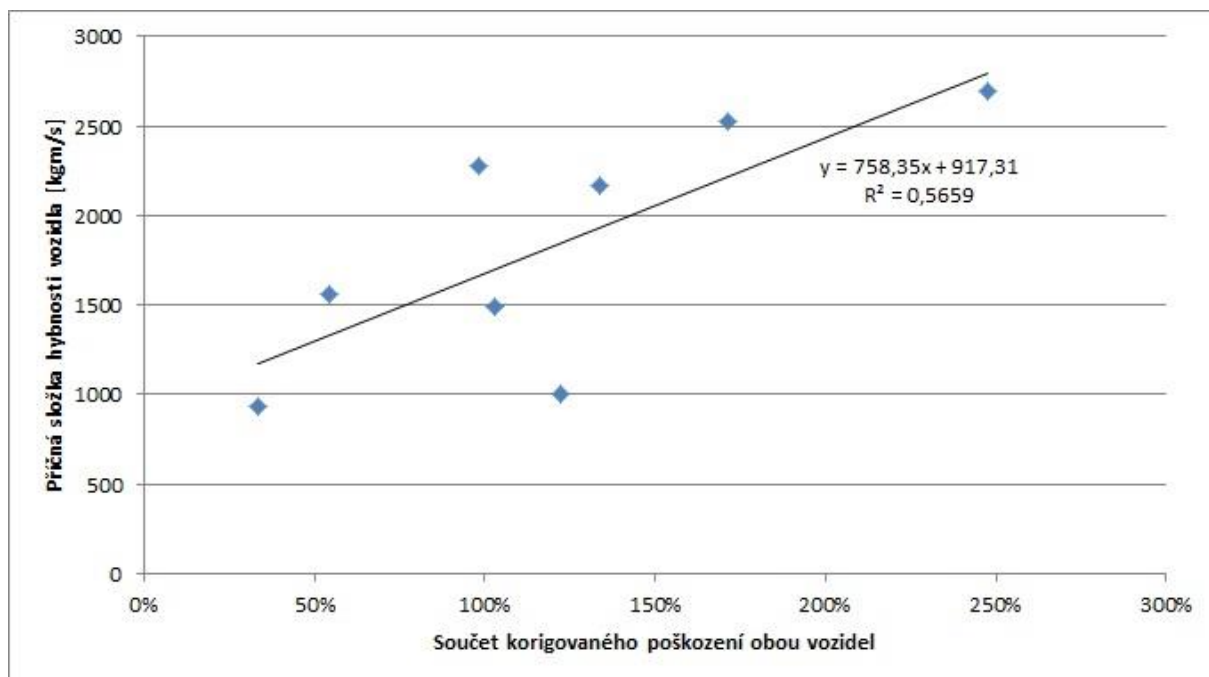
$S_{cX}$  – celková plocha vozidla X

$S_X$  – korigované procentuální poškození vozidla X [4]

## 6.1 VARIACE KOEFICIENTŮ

Pro účely prvotního výpočtu byly pro koeficienty  $k_z$ ,  $k_o$ ,  $k_č$  a  $k_t$  převzaty hodnoty stanovené autorem hypotézy. Tyto hodnoty činily 0,5 pro  $k_z$ , 2 pro  $k_o$ , 4 pro  $k_č$  a 2 pro  $k_t$ . [4]

Graf závislosti příčné hybnosti na sumě korigovaného procentuálního poškození obou vozidel pro tyto koeficienty lze vidět níže.

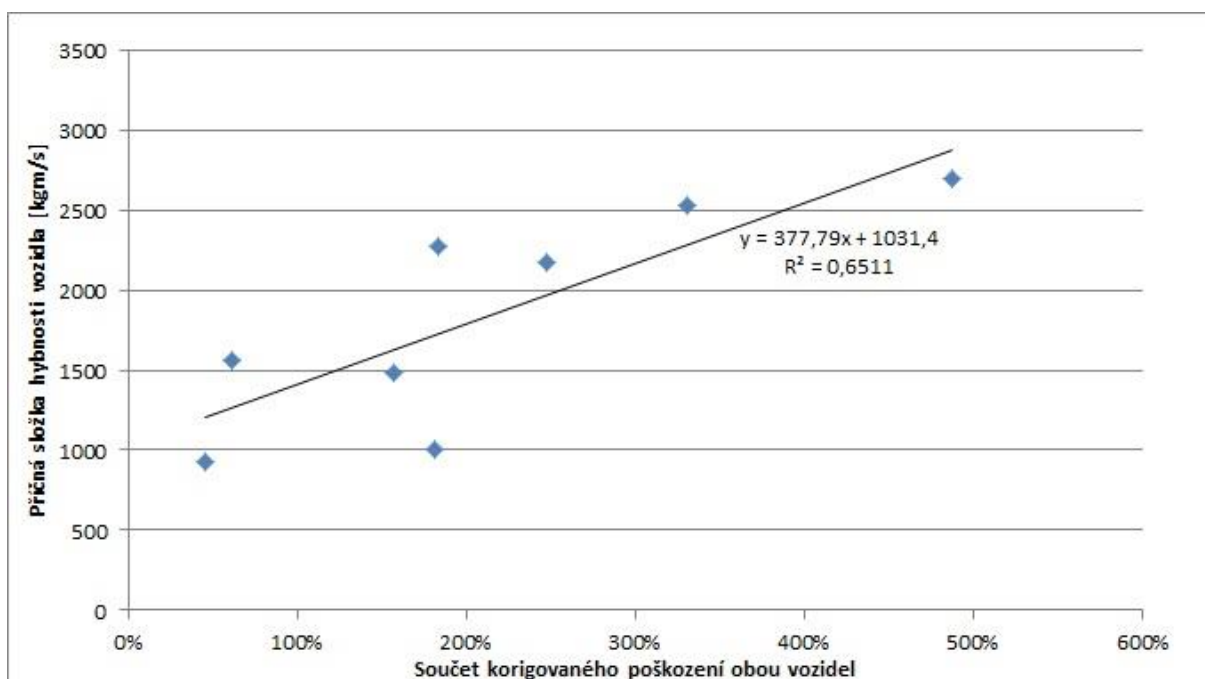


Graf 25 Závislost příčné složky hybnosti a součtu korigovaného poškození obou vozidel



V grafu lze pozorovat stoupající závislost příčné složky hybnosti na součtu procentuální hodnoty korigovaného poškození obou vozidel podobně jako tomu je v diplomové práci autora hypotézy. Lze tedy říci, že předpoklady autora hypotézy jsou správné.

V následujícím kroku byly prováděny různé variace hodnot jednotlivých koeficientů s cílem dosáhnout lepší korelace mezi naměřenými daty a proloženou přímkou popisující funkční závislost. S použitím této metody byl vytvořen následující graf.



*Graf 26 Závislost příčné složky hybnosti a součtu korigovaného poškození obou vozidel za použití druhé sady koeficientů*

Použité koeficienty byly 0,5 pro  $k_z$ , 0,5 pro  $k_o$ , 8 pro  $k_\xi$  a 2 pro  $k_t$ . Na grafu je patrné, že při použití těchto koeficientů nastává lepší korelace mezi naměřenými hodnotami a proloženou přímkou popisující lineární závislost. Dále byl pozorován vliv změny jednotlivých koeficientů na chování grafu. Zatímco změny koeficientu  $k_z$  měly na chování grafu zanedbatelný vliv, u koeficientů  $k_o$  a  $k_\xi$  bylo při jejich snižování, respektive zvyšování, jasně patrné, že míra korelace mezi naměřenými daty a proloženou přímkou se zlepšuje. Změny koeficientu  $k_t$  měly na korelaci pouze negativní vliv jak při zvyšování, tak při snižování jeho hodnoty, proto byla ponechána původní hodnota.

Z obou grafů je patrné, že mezi příčnou složkou hybnosti a součtem procentuálního korigovaného poškození vozidel jistě existuje rostoucí lineární závislost, tato skutečnost může být

využita pro další výzkum. Jediná hodnota, která nekoresponduje s rostoucí tendencí závislosti, je hodnota příčné hybnosti 1006 kgm/s při součtu korigovaného poškození 181% (respektive 122% při použití původních koeficientů), která byla získána z testu číslo 1 pod úhlem 14°. Při tomto testu činila rychlost jedoucího vozidla 13,7 km/h. Při pokusu však byla dodržena stanovená pravidla průběhu, tudíž by neměl být důvod pro vyloučení tohoto pokusu.

Vzhledem k dosažení srovnatelných výsledků lze tuto hypotézu vytvořenou T. Prausem považovat za správnou, pro definitivní potvrzení je však nezbytné provést více experimentů pro různé střetové konfigurace.

## 7 OVĚŘENÍ HYPOTÉZY O KORELACI DEFORMAČNÍ ENERGIE A SOUČTU KORIGOVANÉHO POŠKOZENÍ VOZIDEL

Cílem této kapitoly je ověření druhé hypotézy formulované v diplomové práci T. Prause, konkrétně „Hypotézy II“. Základem této hypotézy je úvaha závislosti mezi deformační energií, která má za následek vznik všech poškození, a součtem korigovaného procentuálního poškození obou vozidel. [4]

Pro provedení výpočtů deformační energie byly převzaty rovnice z práce autora hypotézy. Pro výpočet deformační energie byly využity následující vztahy:

$$E_{def} = E_k - E'_k - E_{rot} \quad \text{rovnice 9}$$

$$E_{def} = \frac{1}{2}mv_{před}^2 - \frac{1}{2}mv_{po}^2 - \frac{1}{2}J\omega^2 \quad \text{rovnice 10}$$

$$J = 0,1269 \cdot m \cdot l_x \cdot R_{Vx} \quad \text{rovnice 11}$$

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad \text{rovnice 12}$$

Kde:  $E_k$  – hodnota kinetické energie před střetem [J]

$E'_k$  – hodnota kinetické energie po střetu [J]

$E_{rot}$  – hodnota rotační energie [J]

$E_{def}$  – hodnota deformační energie [J]

$m$  – hmotnost vozidla včetně hmotnosti řidiče [kg]

$v_{před}$  – hodnota předstřetové rychlosti vozidla [m/s]

$v_{po}$  – hodnota postřetové rychlosti vozidla [m/s]

$J$  – moment hybnosti [kgm<sup>2</sup>]

$l_x$  – délka vozidla [m]

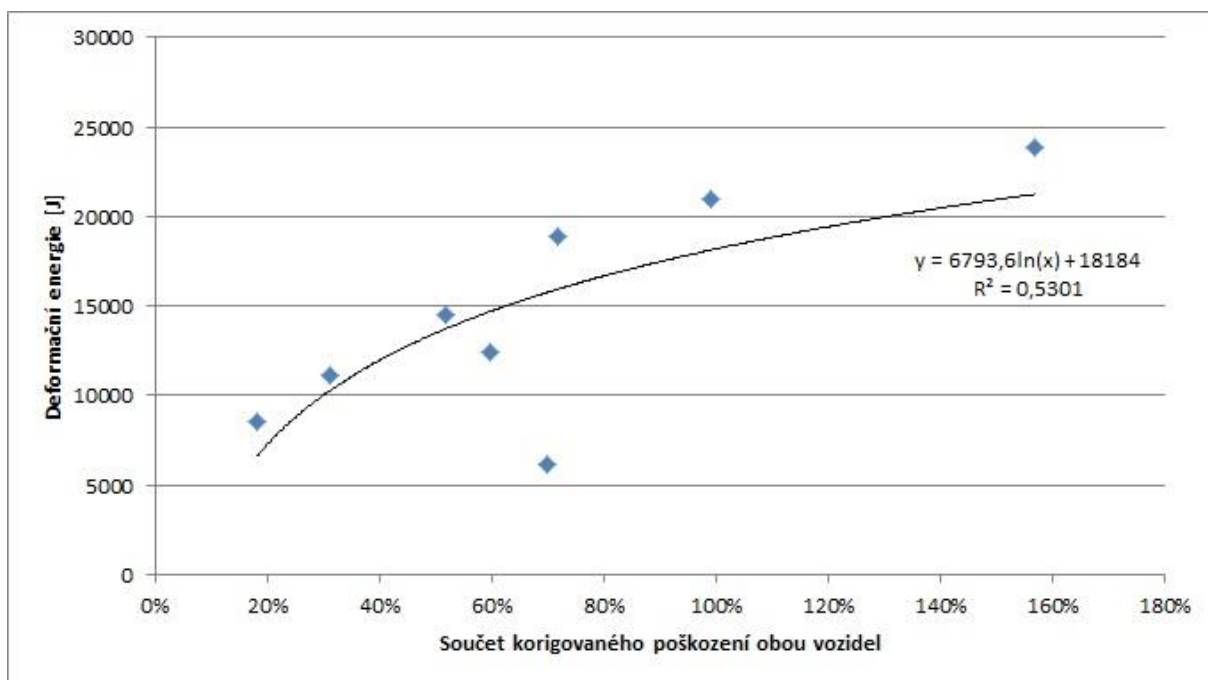
$R_{Vx}$  – rozvor vozidla [m]

$\omega$  – úhlová rychlost [rad/s] [4]

Pomocí zmíněných rovnic byly vypočteny hodnoty deformační energie pro každý z provedených testů. Rozsah poškozených ploch na jednotlivých vozidlech byl stejný, zachován zůstal i způsob výpočtu korigované poškozené plochy, bylo však užito jiných hodnot koeficientů.

Tyto hodnoty byly převzaty tak, jak byly zvoleny autorem hypotézy, a to 0,3 pro  $k_z$ , 0,9 pro  $k_o$ , 1,8 pro  $k_\xi$  a 4 pro tuhostní koeficient  $k_t$ . [4]

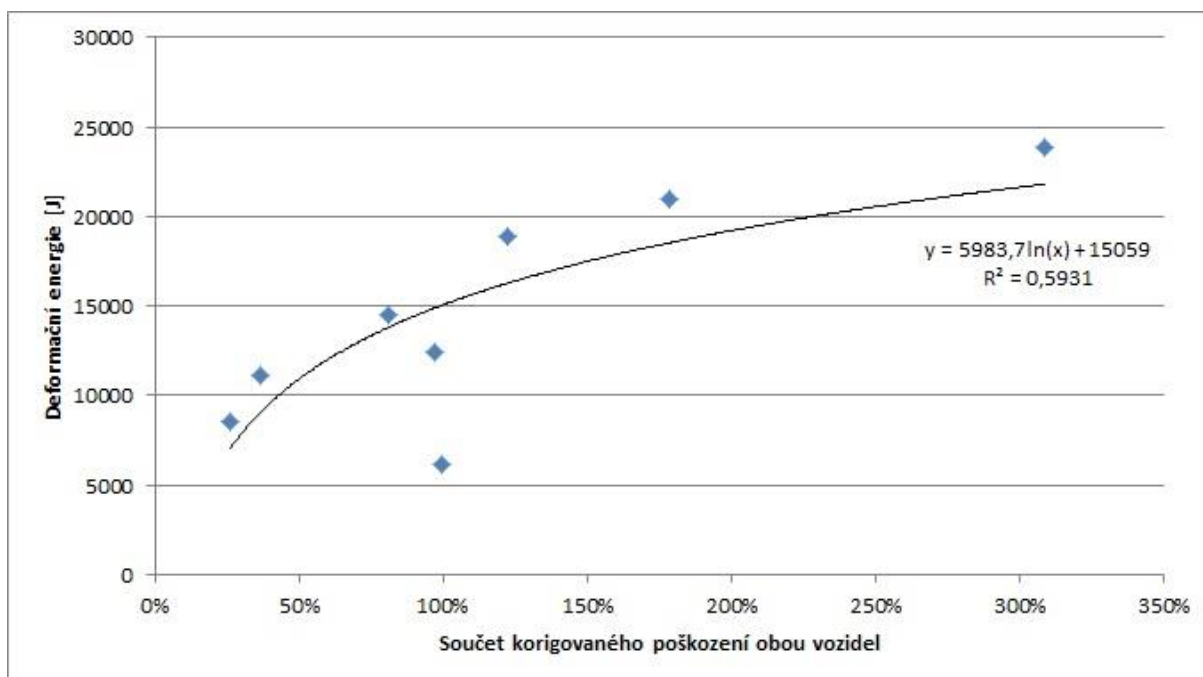
Výpočet byl proveden pomocí programu Microsoft Excel, ve kterém byl zpracován následující graf.



*Graf 27 Závislost deformační energie a součtu korigovaného poškození obou vozidel*

Naměřená data byla proložena křivkou logaritmické funkce. Je jasné patrné, že výsledný graf vykazuje vysokou podobnost s grafem vytvořeným autorem hypotézy. Lze tedy usuzovat, že původní úvaha autora hypotézy je správná.

Podobně jako při ověřování předchozí hypotézy, i v tomto případě bylo vyzkoušeno několik variant koeficientů s cílem dosáhnout lepší korelace mezi naměřenými daty a proloženou křivkou. Tímto způsobem bylo zjištěno, že při snížení koeficientu  $k_z$  a současně zvýšení koeficientu  $k_\xi$  nastává mírně příznivější korelace mezi naměřenými veličinami a logaritmickou křivkou. Změny v chování grafu vyvolané změnou hodnoty koeficientu  $k_o$  byly nepatrné a spíše nepříznivé, změna hodnoty koeficientu  $k_t$  pak přinášela pouze nepříznivé výsledky, z toho důvodu byly tyto koeficienty ponechány v původních hodnotách. Následující graf byl vytvořen za použití hodnot  $k_z = 0,1$ ;  $k_o = 0,9$ ;  $k_\xi = 3,6$  a  $k_t = 4$ .



*Graf 28 Závislost deformační energie a součtu korigovaného poškození obou vozidel za použití druhé sady koeficientů*

Jak je patrné z obou sestrojených grafů, vypočítané hodnoty lze proložit křivkou logaritmické funkce. Tato skutečnost se shoduje s výsledky prezentovanými autorem hypotézy. Jediná výjimka z této závislosti je hodnota deformační energie 6118 J při součtu korigovaného poškození 99% (respektive 70% při použití původních koeficientů stanovených autorem hypotézy). Stejně jako v případě předchozí hypotézy se zde jedná o test číslo 1 pod úhlem 14° v rychlosti 13,7 km/h. Jak již bylo zmíněno, test byl proveden dle všech požadovaných náležitostí, není tedy třeba jej z tohoto důvodu vyřazovat. Možným vysvětlením zde může být skutečnost, že u ostatních testů s podobnou hodnotou součtu korigovaného poškození vozidel docházelo k zaklesnutí předních kol vozidel do sebe, což mělo za následek vyšší hodnoty deformační energie. U tohoto testu však k zaklesnutí kol nedošlo.

Podle získaných výsledků lze i druhou hypotézu označit za správnou. Pro získání detailních výsledků a možných rozsahů použitelnosti a pro konečné potvrzení této hypotézy je však, stejně jako v předchozím případě, třeba provést další experimenty pro různé střetové konfigurace.

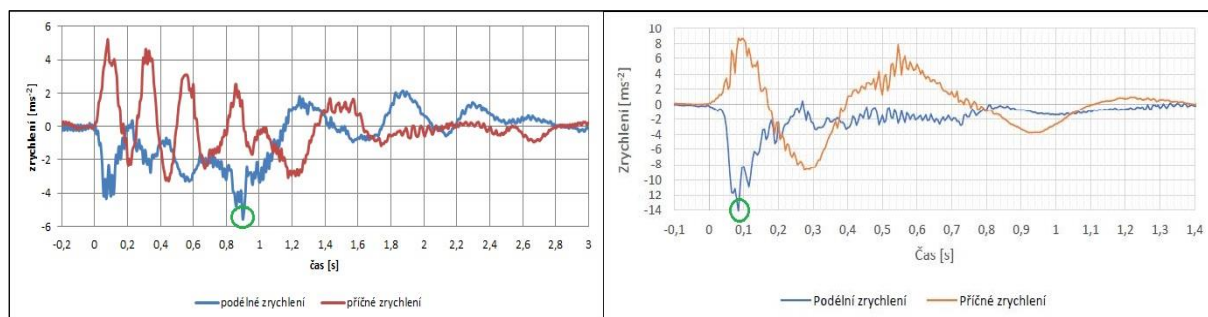
## **7.1 ÚVAHA NAD VÝJIMKOU NEPOTVRZUJÍCÍ ZÁVISLOST**

Jak již bylo zmíněno, hodnota deformační energie 6118 J při součtu korigovaného poškození 70% (respektive 99% při použití druhé sady koeficientů) je jedinou hodnotou, která se

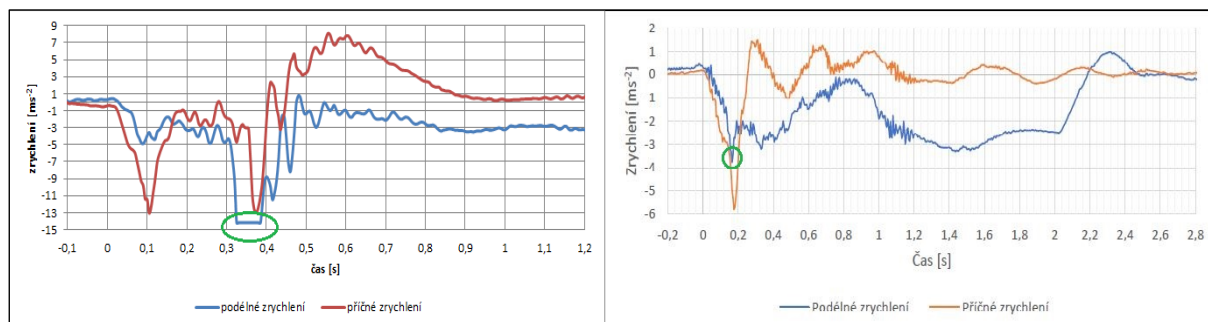
vymyká zjištěné závislosti. Tato hodnota pochází z testu č. 1 pod úhlem  $14^\circ$  při rychlosti 13,7 km/h.

Podobná výjimka byla pozorována i v práci T. Prause, kdy se jednalo o experiment pod úhlem  $8^\circ$  při rychlosti 23,1 km/h. I v tomto případě byl experiment proveden dle požadovaného postupu, tudíž nebyl důvod jej vyřazovat. Stejně jako v případě experimentu pod úhlem  $14^\circ$  nedošlo k zahákování kol vozidel. Jelikož při zahákování kol vozidel docházelo ke vzniku vyšších deformačních energií, mohla by tato skutečnost vést k objasnění této výjimky. [4]

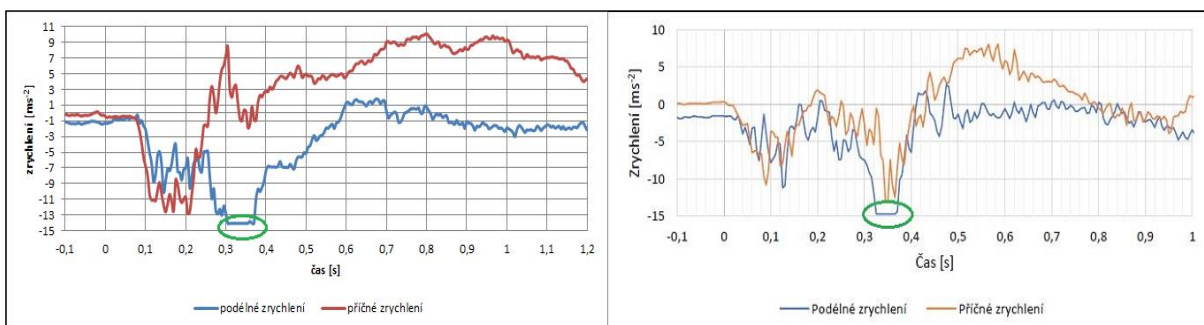
Pro srovnání jsou dále uvedeny grafy průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla z jednotlivých testů provedených v rámci této práce a práce T. Prause. Je nutné poznamenat, že průběh složek zrychlení jedoucího vozidla z testu číslo 3 z práce T. Prause není v práci uveden a tudíž nemohlo být provedeno srovnání. Ve všech grafech byly zelenou barvou vyznačeny maximální výkyvy podélné složky zrychlení. Vysoké výkyvy této složky slouží jako snadno rozpoznatelný identifikátor zaklesnutí kol vozidel. Grafy nalevo pocházejí z experimentů pod úhlem  $14^\circ$ , grafy napravo z experimentů pod úhlem  $8^\circ$  z práce T. Prause. [4] První dvojice grafů porovnává testy číslo 1 z příslušných sad experimentů, druhá dvojice testy číslo 2 a třetí dvojice testy číslo 4.



Obr. 51 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 1 pod úhlem  $14^\circ$  (nalevo) a test č. 1 pod úhlem  $8^\circ$  [4] (napravo)



Obr. 52 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 2 pod úhlem  $14^\circ$  (nalevo) a test č. 2 pod úhlem  $8^\circ$  [4] (napravo)



*Obr. 53 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 4 pod úhlem 14° (nalevo) a test č. 4 pod úhlem 8° [4] (napravo)*

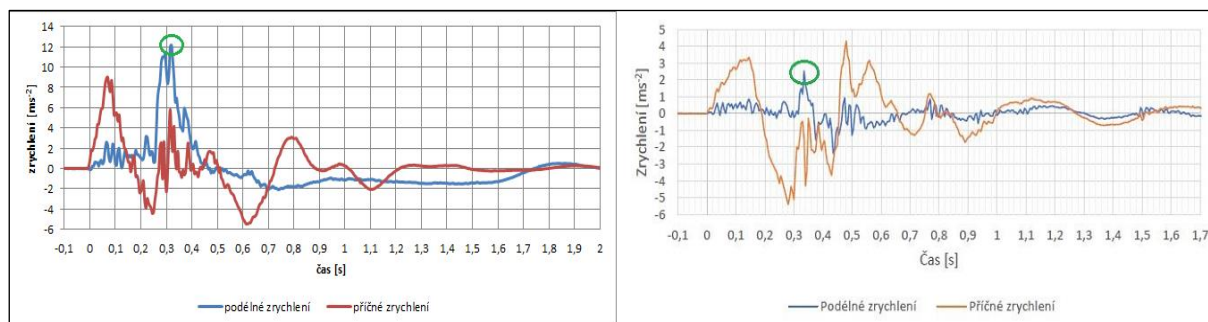
Na velikosti maximálních výkyvů podélné složky zrychlení jsou mezi grafy jasně patrné rozdíly, které poukazují na různé chování vozidel během střetu. U první dvojice grafů lze na grafu z experimentu pod úhlem 14° pozorovat maximální výkyv v čase cca 0,9 s v hodnotě blíží se  $-6 \text{ ms}^{-2}$ , oproti tomu graf z experimentu 8° vykazuje maximální výkyv v čase okolo 0,1 s blíží se hodnotě  $-14 \text{ ms}^{-2}$ . Toto odpovídá popisovaným průběhům kolizí, jelikož u kolize pod úhlem 14° nedošlo k zaklesnutí kol, u kolize pod úhlem 8° však tento jev nastal, což je popisováno i v práci autora grafu [4]. Dotyčné měření pod úhlem 8° však bylo autorem z následné tvorby hypotéz vyjmuto, jelikož svým způsobem provedení nesplňovalo stanovené podmínky. [4] Není tudíž možné posoudit, zda vyhovovalo zjištěné závislosti.

U druhé dvojice grafů nastává stejná situace. Zatímco v grafu z experimentu pod úhlem 14° je jasně patrný výrazný maximální výkyv hodnoty podélného zrychlení v čase mezi 0,3 – 0,4 s, který se blíží k hodnotě  $-15 \text{ ms}^{-2}$ , graf z experimentu pod úhlem 8° vykazuje maximální výkyv hodnoty podélného zrychlení v čase okolo 0,2 s v hodnotě blíží se  $-4 \text{ ms}^{-2}$ . Toto chování grafu opět odráží průběh daných testů, kdy při testu pod úhlem 14° došlo k výraznému zahákování kol vozidel, zatímco v testu pod úhlem 8° k tomuto jevu nedošlo. Tato skutečnost je rovněž konstatována v práci T. Prause. [4] Pro následnou tvorbu hypotéz byl však test číslo 2 pod úhlem 8° autorem práce vyřazen, jelikož svým průběhem nesplňoval požadované podmínky. [4] Z toho důvodu nelze posuzovat, zda odpovídá zjištěné závislosti mezi deformační energií a součtem korigovaného poškození vozidel.

Poslední dvojice grafů vykazuje průběhem křivky podélného zrychlení velice podobné chování, čímž se od předchozích dvou dvojic odlišuje. V obou případech nastává v čase 0,3 – 0,4 s výrazný maximální výkyv podélného zrychlení, jehož hodnoty se blíží hranici  $-15 \text{ ms}^{-2}$ , což odpovídá skutečnosti, že při obou experimentech došlo k zaklesnutí kol vozidel. Zároveň oba

experimenty vykazují poměrně vysoké hodnoty deformační energie a oba vyhovují zjištěné závislosti.

Jelikož průběh složek zrychlení jedoucího vozidla z testu číslo 3 pod úhlem  $8^\circ$  nebyl v práci T. Prause uveden [4], k porovnání byly použity grafy průběhu složek zrychlení stojících vozidel. Graf nalevo pochází z experimentu pod úhlem  $14^\circ$ , graf napravo z experimentu pod úhlem  $8^\circ$  [4].



Obr. 54 Srovnání grafů složek zrychlení stojících vozidel pro test č. 3 pod úhlem  $14^\circ$  (nalevo) a test č. 3 pod úhlem  $8^\circ$  [4] (napravo)

Vliv zahákování kol na průběh křivky podélného zrychlení je dobře patrný i na grafech složek zrychlení stojících vozidel. V grafu nalevo nastává maximální výchylka podélného zrychlení v čase přibližně 0,3 s a dosahuje hodnoty okolo  $12 \text{ ms}^{-2}$ . V grafu napravo z experimentu pod úhlem  $8^\circ$  je maximální výchylka podélné složky zrychlení, která nastává v čase po 0,3 s, výrazně nižší, její hodnota se blíží  $3 \text{ ms}^{-2}$ . Tyto skutečnosti korespondují s průběhem obou kolizí. V případě experimentu pod úhlem  $14^\circ$  došlo během kolize k zaklesnutí kol vozidel. Oproti tomu při experimentu pod úhlem  $8^\circ$  tento jev nenastal, což uvádí také autor grafu [4]. Hodnoty deformační energie získané z těchto měření se rovněž výrazně odlišují. Zatímco v případě experimentu pod úhlem  $14^\circ$  odpovídá hodnota deformační energie zjištěné závislosti, experiment pod úhlem  $8^\circ$  se zjištěné závislosti vymyká. Tato výjimka byla již konstatována v práci T. Prause. [4]

Ze zjištěných poznatků lze tedy vyvodit úvahu, že skutečnost, zda během testu došlo k zaklesnutí kol vozidel, má vliv na to, zda výsledky příslušného testu odpovídají zjištěné závislosti mezi deformační energií a součtem korigovaného poškození. Pro přesně ověření této úvahy však není k dispozici dostatečný počet experimentů, které by podléhaly tomuto chování. Pro další potvrzení či vyvrácení úvahy je tedy nezbytné provést další experimenty, které by se soustředily na tento jev.



## 8 ZÁVĚR

Problematika tečných střetů je specifická chováním vozidel v průběhu střetu. Na rozdíl od kolmých či čelních střetů, při kterých dochází ke značným změnám směru a rychlosti kolidujících vozidel, u tečných střetů se tyto údaje často nenachází. Při analýze takového nehodového děje je tedy nezbytné vycházet z jiných údajů, jako je například korespondence poškození spolukolidujících vozidel.

V rámci diplomové práce byly provedeny dvě sady experimentálních tečných střetů, a to pod úhlem  $11^\circ$  a  $14^\circ$ . Pro každou konfiguraci byly provedeny 4 nárazy v různých rychlostech. Pomocí dostupných dat naměřených pomocí XL Meteru, videozáznamů a fotodokumentace byly tyto testy následně zkoumány, popsány a vyhodnoceny. Pomocí dat získaných z XL Meteru byly vytvořeny grafy příčného a podélného zrychlení a podélné rychlosti pro každé vozidlo v každém testu. Rovněž bylo pomocí dostupné fotodokumentace prozkoumáno a zhodnoceno poškození spolukolidujících vozidel. To bylo následně roztrženo podle hloubky deformace a zpracováno do grafické podoby map poškození. Poškození stojících vozidel zpravidla probíhalo po celé délce boku vozidla, s měnící se rychlostí se pouze měnila intenzita a hloubka poškození. U jedoucích vozidel se většina poškození nacházela na přední části boku konkrétního vozidla, intenzita poškození se s rostoucí rychlostí rovněž zvyšovala.

V následující kapitole byla zpracována úvaha, která se pokusila dát do souvislosti diferenční příčné zrychlení spolukolidujících vozidel a intenzitu poškození boku stojícího vozidla. Pomocí dostupných dat byl vyjádřen průběh diferenčního příčného zrychlení v závislosti na délkovém rozsahu poškození boku stojícího vozidla. Úvaha pracovala s předpokladem, že při větší velikosti absolutní hodnoty diferenčního příčného zrychlení dochází mezi spolukolidujícími plochami k větší míře interakce, která se projevuje deformací boku vozidla. Vytvořená grafická znázornění jsou především informačního charakteru. Zásadní omezení této úvahy spočívá ve skutečnosti, že se soustředí pouze na poškození boku stojícího vozidla a nezohledňuje poškození vozidla jedoucího. Jelikož jedoucí vozidlo není dokonale pružné, vzniklé interakce mezi spolukolidujícími vozidly zapříčiňují vznik deformací také na boku jedoucího vozidla. Vhodnější případ pro použití této úvahy by mohl být v případě, že by došlo k tečnému střetu jedoucího vozidla s tuhou, nedeformovatelnou bariérou. Další možné využití vytvořených grafických znázornění je jako podpora při volbě koeficientů bodujících poškozené a především tuhé části boku stojícího vozidla. Vytvořené grafiky by mohly pomoci jako podklad při tvorbě přibližné mapy tuhosti boku vozidla, na základě které by mohla být provedena detailnější volba tuhostních koeficientů. Rovněž by tato grafická znázornění mohla přispět k detailnějšímu způsobu

kategorizace poškození boku vozidla, kdy by mohlo být například zavedeno více barevných kategorií pro hodnocení vzniklého poškození.

V následujících dvou kapitolách byly ověřovány hypotézy stanovené v diplomové práci T. Prause. První hypotéza pracuje s myšlenkou lineární závislosti mezi příčnou složkou hybnosti a součtem poškození obou vozidel. Ze zpracovaných map poškození byly získány poškozené plochy, které byly následně procentuálně vyjádřeny vzhledem k celkové ploše vozidla. Byly zavedeny koeficienty podle hloubky poškození a tuhosti karoserie, které byly použity ve výpočtu korigované poškozené plochy a které snižovaly nebo zvyšovaly váhu příslušných poškozených ploch. Vedle hodnot koeficientů stanovených autorem hypotéz byly zkoušeny i jiné variace hodnot těchto koeficientů s cílem dosáhnout lepší korelace mezi naměřenými daty a křivkou charakterizující závislost. Výsledkem ověřování první hypotézy je potvrzení lineární závislosti mezi příčnou složkou hybnosti a součtem korigované poškozené plochy. Touto skutečností byla potvrzena správnost úvahy autora hypotézy.

Druhá hypotéza využívala rovněž korigovaných ploch stejně jako hypotéza první, namísto složky hybnosti zde však byla uvažována deformační energie. Výsledná logaritmická závislost mezi deformační energií a sumou korigované poškozené plochy byla srovnatelná s výsledkem prezentovaným autorem hypotézy, i v tomto případě lze tedy úvahu autora hypotézy považovat za správnou. Zároveň je však nutno zmínit, že pro definitivní potvrzení obou hypotéz a jejich případných rozsahů použitelnosti bude do budoucna nezbytné provést další experimenty s různými střetovými konfiguracemi.

V obou případech bylo zaznamenáno měření, které se svým výsledkem vymyká zjištěným závislostem. Jednalo se vždy o to stejné měření, a sice o test číslo 1 pod úhlem  $14^\circ$ . Toto měření bylo provedeno podle všech stanovených náležitostí, z dostupné dokumentace nebyla zjištěna žádná odchylka od požadovaného průběhu, z toho důvodu toto měření prozatím není možné vyloučit. V souvislosti s touto odlišností byla formulována úvaha, že důvodem vymykání se tohoto měření zjištěné závislosti je skutečnost, že při daném měření nedošlo k zaklesnutí kol vozidel. Podobně vymykající se měření bylo zjištěno rovněž v práci T. Prause. [4] Bylo provedeno srovnání grafů průběhu podélné složky zrychlení vozidel z experimentů provedených v rámci této práce a v rámci práce T. Prause. Z provedeného srovnání byl vyvozen závěr, že skutečnost, zda během experimentu došlo k zahákování kol vozidel, má vliv na to, zda příslušný experiment odpovídá zjištěné závislosti deformační energie na součtu korigovaných poškozených ploch. Pro přesnější potvrzení této úvahy však nebyl k dispozici dostatečný počet měření, pomocí kterých by tuto úvahu bylo možné blíže potvrdit či vyvrátit.

Diplomová práce svým zaměřením navazovala na práci T. Prause, obě hypotézy formulované v této práci se ukázaly jako správné. Jistý prostor pro zlepšení je zejména v detailnějším rozčlenění větších hloubek poškození nad 20 mm. Práce ukazuje, že do budoucna je možné ubírat se směrem stanoveným zmíněnými hypotézami. Další provedená měření mohou přinést detailnější porozumění problematice či zpřesnit rozsah použití těchto hypotéz. Další možný směr výzkumu by mohl být rovněž soustředěn na potvrzení či vyvrácení úvahy o tom, zda skutečnost, že během experimentu nedojde k zahákování kol vozidel, má vliv na to, zda příslušný experiment vyhovuje zjištěné závislosti mezi deformační energií a sumou korigovaných poškozených ploch.

## Seznam zdrojů

- [1] RÁBEK, Vlastimil. Analýza příčin vzniku a průběhu škodných událostí v oboru pojištění motorových vozidel: (sborník tuzemských a převzatých cizojazyčných publikací) = Analyse der Ursachen von Schadenereignissen im Bereich der Kfz-Versicherung. Olomouc: Vlastimil Rábek, 2012, 365 s.: il. (některé barev.), portréty ; 25 cm. ISBN 978-80-260-3061-4.
- [2] RÁBEK, Vlastimil. Základní informace a názvosloví k manipulovaným škodným událostem z oboru pojištění motorových vozidel. Dostupné z: <http://rabek.xf.cz/Zakladni-informace-a-nazvoslovi.pdf>
- [3] MATĚJČEK, Martin. Historie, současné trendy a vize ve vývoji deformačních zón osobní automobilů. Praha, 2016. Diplomová. ČVUT. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
- [4] PRAUS, Tomáš. Střety boků vozidel pod úhlem 8° při různých rychlostech. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112357>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2019. 103 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vlastimil Rábek, Ph.D.
- [5] RÁBEK, Vlastimil. Analýza harmonického kyvu při tečném střetu boků vozidel pro určení diferenční rychlosti kolizních oblastí vozidel - MAHK. Olomouc, 2016. Dostupné také z: <http://www.rabek.xf.cz/Analyza-harmonickeho-kyvu.pdf>
- [6] XL Meter™ Pro [online]. , 42 [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>
- [7] Google maps [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [8] FUNK, James, Joseph CORMIER a Charles BAIN. *Analytical Model for Investigating Low-Speed Sideswipe Collisions*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2004. ISBN 0-7680-1319-4.
- [9] Zákon č. 40/2009 Sb., *trestní zákoník*
- [10] BRACH, Matthew, Raymond BRACH a Katherine PONGETTI. *Analysis of High-Speed Sideswipe Collisions Using Data From Small Overlap Tests*. Society of Automotive Engineers, 2014.
- [11] SEN, Basav, John SMITH a Wassim NAJM. *Analysis of Lane Change Crashes*. Cambridge, MA: National Highway Traffic Safety Administration, 2003.

- [12] Karoserie nového Audi A8: Hliník na ústupu! *Auto.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/karoserie-noveho-audi-a8-hlinik-na-ustupu-105526>
- [13] UYAMA, Masaru, Hiroshi MAKISHITA a Shuji SAITO. Determination of Collision Configurations from Vehicle Deformation Patterns. In: *SAE Transactions*, vol. 100. 1991, s. 230-244.

## Seznam zkratek

$a_{\text{př dif}}$	$[\text{ms}^{-2}]$	diferenční příčné zrychlení
$a_{\text{př jed}}$	$[\text{ms}^{-2}]$	příčné zrychlení jedoucího vozidla
$a_{\text{př st}}$	$[\text{ms}^{-2}]$	příčné zrychlení stojícího vozidla
$v_{\text{pod}}$	$[\text{ms}^{-1}]$	podélná rychlost jedoucího vozidla
$a_{\text{pod}}$	$[\text{ms}^{-2}]$	podélné zrychlení jedoucího vozidla
$t$	$[\text{s}]$	časový krok daný frekvencí měřicího přístroje
$\alpha$	$[\text{°}]$	úhel sevřený podélnými osami vozů
$p$	$[\text{kgms}^{-1}]$	příčná složka hybnosti
$k_z$	$[-]$	koeficient váhy zelených ploch poškození
$k_o$	$[-]$	koeficient váhy oranžových ploch poškození
$k_{\xi}$	$[-]$	koeficient váhy červených ploch poškození
$k_t$	$[-]$	tuhostní koeficient
$E_K$	$[\text{J}]$	kinetická energie před střetem
$E_K'$	$[\text{J}]$	kinetická energie po střetu
$E_{\text{rot}}$	$[\text{J}]$	rotační energie
$E_{\text{def}}$	$[\text{J}]$	deformační energie
$J$	$[\text{kgm}^2]$	moment hybnosti
$l$	$[\text{m}]$	délka vozidla
$m$	$[\text{kg}]$	hmotnost vozidla včetně hmotnosti řidiče
$v_{\text{před}}$	$[\text{m/s}]$	hodnota předstřetové rychlosti vozidla
$v_{\text{po}}$	$[\text{m/s}]$	hodnota postřetové rychlosti vozidla
$R_v$	$[\text{m}]$	rozvor vozidla
$\omega$	$[\text{rads}^{-1}]$	úhlová rychlost

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní údaje o provedených testech [8].....	27
Tabulka 2 Významné hodnoty zjištěné z jednotlivých experimentů [8] .....	27
Tabulka 3 Porovnání rozsahů poškození získaných ze sim. programu a experimentálně [8].....	29
Tabulka 4 Důležité hodnoty získané z testu č. 1, úhel 11° .....	48
Tabulka 5 Důležité hodnoty získané z testu č. 2, úhel 11° .....	54
Tabulka 6 Důležité hodnoty získané z testu č. 3, úhel 11° .....	61
Tabulka 7 Důležité hodnoty získané z testu č. 4, úhel 11° .....	67
Tabulka 8 Důležité hodnoty získané z testu č. 1, úhel 14° .....	73
Tabulka 9 Důležité hodnoty získané z testu č. 2, úhel 14° .....	80
Tabulka 10 Důležité hodnoty získané z testu č. 3, úhel 14° .....	87
Tabulka 11 Důležité hodnoty získané z testu č. 4, úhel 14° .....	94
Tabulka 12 Grafická znázornění průběhu diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojících vozidel z jednotlivých testů .....	101

## Seznam grafů

Graf 1 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11° ....	45
Graf 2 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11° .....	46
Graf 3 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 1 pod úhlem 11° .....	47
Graf 4 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem 11° ....	51
Graf 5 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem 11° .....	52
Graf 6 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 2 pod úhlem 11° .....	53
Graf 7 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem 11° ....	58
Graf 8 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem 11° .....	59
Graf 9 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 3 pod úhlem 11° .....	60
Graf 10 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 11° ..	64
Graf 11 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 11° .....	65
Graf 12 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem 11° .....	66
Graf 13 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 14° ..	70
Graf 14 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 1 pod úhlem 14° .....	71
Graf 15 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 1 pod úhlem 14° .....	72
Graf 16 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem 14° ..	77
Graf 17 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 2 pod úhlem 14° .....	78
Graf 18 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 2 pod úhlem 14° .....	79
Graf 19 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem 14° ..	84
Graf 20 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 3 pod úhlem 14° .....	85
Graf 21 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 3 pod úhlem 14° .....	86
Graf 22 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14° ..	91
Graf 23 Detail průběhu složek zrychlení jedoucího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14° .....	92
Graf 24 Průběh složek zrychlení a podélné rychlosti stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14° .....	93
Graf 25 Závislost příčné složky hybnosti a součtu korigovaného poškození obou vozidel .....	104



Graf 26 Závislost příčné složky hybnosti a součtu korigovaného poškození obou vozidel za použití druhé sady koeficientů .....	105
Graf 27 Závislost deformační energie a součtu korigovaného poškození obou vozidel .....	108
Graf 28 Závislost deformační energie a součtu korigovaného poškození obou vozidel za použití druhé sady koeficientů .....	109

## Seznam obrázků

Obr. 1 Složení komponentů karoserie vozidla Audi A8 [12].....	16
Obr. 2 Průběh rýh v místě lícování dílů karoserie (archiv vedoucího práce) .....	18
Obr. 3 Mikrostruktura povrchu laku [4] .....	19
Obr. 4 Deformace pneumatiky vlivem bočního zatížení [4] .....	20
Obr. 5 Sinusoidní stopa na boku poškozeného vozidla [5] .....	21
Obr. 6 Osy rotace vozidla [5] .....	22
Obr. 7 Tlumení harmonických kmitů v závislosti na čase [5] .....	23
Obr. 8 Obloukovitá rýha opisující výztuhu dveří [5] .....	24
Obr. 9 Oblouková rýha způsobená tvarem blatníku vozidla [5].....	24
Obr. 10 Střetová konfigurace použita při experimentu [8] .....	25
Obr. 11 Upravený roh nárazníku jedoucího vozidla [8] .....	26
Obr. 12 Graf porovnávající průběh podélného zrychlení z jednotlivých zdrojů (Linear spring model – lineárně pružný model; EDSMAC – sim. Program EDSMAC; Experiment O3 – data z ukázkového experimentu) [8].....	28
Obr. 13 Graf porovnávající hodnoty podélného zrychlení z různých zdrojů pro vybrané experimenty (Experiment – hodnota získaná experimentálně; Linear model – hodnota získaná za použití lineárně pružného modelu; EDSMAC – hodnota ze simulačního programu EDSMAC) [8] .	28
Obr. 14 Typy použitých pevných překážek [10] .....	30
Obr. 15 Průběh střetu vozidla s překážkou [10] .....	31
Obr. 16 Graf vykreslující naměřené hodnoty podélné rychlosti v závislosti na čase [10].....	31
Obr. 17 Střetové konfigurace vozidel použité při experimentu [13].....	35
Obr. 18 Grafické znázornění deformací z jednoho z experimentů [13] .....	35
Obr. 19 Porovnání průběhu střetu odvozeného pomocí korespondence poškození (nahore) s průběhem získaným z videozáznamu (dole) [13] .....	36
Obr. 20 XL Meter [6].....	37
Obr. 21 Místo provedení experimentu [7].....	38

Obr. 22 Rozmístění kamer na vozidlech (vlastní práce autora) .....	39
Obr. 23 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 11° .....	43
Obr. 24 Poškození stojícího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 11° .....	44
Obr. 25 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 1 pod úhlem 11° .....	45
Obr. 26 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 11° .....	49
Obr. 27 Poškození stojícího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 11° .....	50
Obr. 28 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 2 pod úhlem 11° .....	50
Obr. 29 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11° .....	56
Obr. 30 Poškození stojícího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11° .....	56
Obr. 31 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 3 pod úhlem 11° .....	57
Obr. 32 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 11° .....	62
Obr. 33 Poškození stojícího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 11° .....	63
Obr. 34 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 4 pod úhlem 11° .....	63
Obr. 35 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 14° .....	68
Obr. 36 Poškození stojícího vozidla z testu č. 1 pod úhlem 14° .....	69
Obr. 37 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 1 pod úhlem 14° .....	70
Obr. 38 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 14° .....	74
Obr. 39 Poškození stojícího vozidla z testu č. 2 pod úhlem 14° .....	76
Obr. 40 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 2 pod úhlem 14° .....	76
Obr. 41 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 14° .....	82
Obr. 42 Poškození stojícího vozidla z testu č. 3 pod úhlem 14° .....	83
Obr. 43 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 3 pod úhlem 14° .....	83
Obr. 44 Poškození jedoucího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 14° .....	89
Obr. 45 Poškození stojícího vozidla z testu č. 4 pod úhlem 14° .....	90
Obr. 46 Konečná poloha stojícího vozidla, test č. 4 pod úhlem 14° .....	90
Obr. 47 Grafické znázornění poškození vozidel, test č. 4 pod úhlem 14° .....	91

Obr. 48 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 1, úhel $11^\circ$ .....	97
Obr. 49 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 2, úhel $11^\circ$ .....	98
Obr. 50 Průběh diferenčního příčného zrychlení vzhledem k poškození boku stojícího vozidla, test č. 1, úhel $11^\circ$ .....	99
Obr. 51 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 1 pod úhlem $14^\circ$ (nalevo) a test č. 1 pod úhlem $8^\circ$ [4] (napravo) .....	110
Obr. 52 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 2 pod úhlem $14^\circ$ (nalevo) a test č. 2 pod úhlem $8^\circ$ [4] (napravo) .....	110
Obr. 53 Srovnání grafů složek zrychlení jedoucích vozidel pro test č. 4 pod úhlem $14^\circ$ (nalevo) a test č. 4 pod úhlem $8^\circ$ [4] (napravo) .....	111
Obr. 54 Srovnání grafů složek zrychlení stojících vozidel pro test č. 3 pod úhlem $14^\circ$ (nalevo) a test č. 3 pod úhlem $8^\circ$ [4] (napravo) .....	112

## Seznam příloh

Příloha 1 – Pomocné výpočtové soubory s komentářem